

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA AERONÁUTICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

**SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL DE POTENCIA DE UN
TÚNEL AERODINÁMICO**



ROBERTO PEINADO ILLANA

INGENIERÍA TÉCNICA AERONÁUTICA ESPECIALIDAD
DE AERONAVES

JULIO 2012

(Página intencionadamente en blanco)

“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica, la voluntad”. Albert Einstein.

(Página intencionadamente en blanco)

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar mi más afectuoso agradecimiento a mi novia que ha sido la persona que más me ha ayudado, estando conmigo durante los momentos más difíciles y sin ella, no habría llegado tan lejos.

También a mi familia, mis padres y mis hermanos que han confiado en mí no sólo durante toda la carrera sino también a lo largo de todo el camino recorrido hasta llegar aquí.

Por otra parte quiero darle mis agradecimientos a todos mis compañeros que han sufrido conmigo las dificultades de la carrera y con los que he luchado codo con codo para conseguir sacar esto adelante.

Por último pero no menos importante, dar las gracias a todo el personal docente y en especial a Santiago Pindado y Fernando Gallardo que me han asesorado durante la realización del proyecto.

¡MUCHAS GRACIAS!

(Página intencionadamente en blanco)

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1	Características básicas de un túnel aerodinámico.....	6
1.2	Justificación de ensayos a escala en un túnel aerodinámico. Principios de semejanza	8
1.3	Clasificación general de los túneles aerodinámicos.....	14
1.3.1	Según el Mach de funcionamiento.....	14
1.3.2	Según el circuito seguido por el flujo	17
1.3.3	Según el tipo de cámara de ensayos	20
1.4	Clasificación de los túneles aerodinámicos según su finalidad	22
2	PREDISEÑO.....	33
2.1	Introducción	33
2.2	Consideraciones de diseño.....	33
2.3	Prototipo inicial	40
2.4	Tipo de ensayos	42
2.5	Diseño de la cámara de ensayos.....	48
2.6	Diseño del difusor.....	52
2.7	Diseño de la contracción.....	57
2.7.1	Método de Nanjunda Swamy.....	59
2.8	Diseño de los codos.....	70
2.9	Diseño de los elementos reductores de turbulencia.	74
2.10	Conductos de adaptación	79
2.11	Dispositivos generadores de turbulencia.....	80
2.12	Conducto de los ventiladores.....	83
2.13	Geometría final del túnel aerodinámico	84
3	PÉRDIDAS DE CARGA	89

3.1	Introducción	89
3.2	Pérdidas de carga en la cámara de ensayos	90
3.3	Pérdidas de carga en los difusores.....	95
3.3.1	Difusor 1	98
3.3.2	Difusor 2	101
3.4	Pérdidas de carga en la contracción.....	102
3.4.1	Contracción formada por conductos de sección constante.....	104
3.5	Pérdidas de carga en los codos	108
3.5.1	Pérdidas de carga sin vanos	110
3.5.2	Pérdidas de carga con vanos	112
3.6	Pérdidas de carga en los dispositivos reductores de turbulencia	113
3.6.1	Pérdidas de carga en los paneles <i>honeycombs</i>	113
3.6.2	Pérdidas de carga en las rejillas.....	116
3.7	Pérdidas de carga en los conductos de adaptación	119
3.8	Pérdidas de carga totales	120
4	SISTEMA DE POTENCIA E ILUMINACIÓN	127
4.1	Sistema de potencia	127
4.1.1	Introducción	127
4.1.2	Selección del ventilador	127
4.1.3	Requisitos	128
4.1.4	Teoría del diseño	129
4.1.5	Selección de la matriz de ventiladores.....	130
4.1.6	Selección final de la matriz de ventiladores.....	146
4.2	Motor de inducción	147
4.2.1	Características par-velocidad del motor de inducción.....	148
4.2.2	Clases de diseño de motores de inducción	150
4.3	Iluminación.....	152
4.3.1	Iluminación localizada	152
4.3.2	Iluminación distribuida.....	154
5	CIRCUITOS ELÉCTRICOS Y REGULACIÓN DE POTENCIA.....	159

5.1	Circuitos eléctricos.....	159
5.2	Regulación de la planta de potencia	163
5.3	Cableado de la instalación eléctrica	166
5.4	Red equipotencial y toma de tierra.....	179
5.5	Conexión eléctrica de los circuitos.....	180
5.6	Distribución del cuadro general	186
5.7	Elección de los dispositivos para las diferentes conexiones eléctricas, estimación de costes e instalación final	189
6	<i>REFERENCIAS</i>	195
	<i>ANEXO 1. PLANOS</i>	201
	<i>ANEXO 2. CATÁLOGOS</i>	235

(Página intencionadamente en blanco)



1. INTRODUCCIÓN



(Página intencionadamente en blanco)



1 INTRODUCCIÓN

El proyecto está basado en el estudio de la planta de potencia de un túnel aerodinámico. Para ello se ha realizado una breve introducción definiendo qué es un túnel aerodinámico, cuál es su propósito, qué tipos hay, etc. Posteriormente se ha escogido un tipo concreto de túnel entre todas las posibilidades y se ha procedido a su estudio. Se ha definido una forma y unas dimensiones y tras calcular las pérdidas de carga, se ha seleccionado la planta de potencia necesaria para compensar dichas pérdidas, dimensionándose también las conexiones de esta desde la acometida de potencia eléctrica. Por último se han dimensionado las conexiones correspondientes a la iluminación y los servicios que competen al túnel aerodinámico.

➤ HISTORIA DE LOS TÚNELES AERODINÁMICOS

Los primeros interesados en la aeronáutica se basaron en los pájaros para construir sus máquinas voladoras, pero estos modelos fallaron y la razón fue que no tenían conocimientos de las fuerzas aerodinámicas que actuaban sobre sus diseños, y para volar, el hombre tuvo primero que entender aunque fuese de forma aproximada el flujo de aire sobre las superficies de la aeronave. Pronto, aquellos inventores fueron conscientes de que necesitaban entender la física del problema al que se enfrentaban y por tanto construyeron instrumentos para analizar y ensayar sus ingenios. Éste fue el origen de los túneles aerodinámicos. Hoy en día es indispensable para desarrollar una aeronave, además de tener otras muchas aplicaciones en otras áreas como el automovilismo, el deporte de alta competición, el urbanismo, etc.

- **Brazo giratorio (“whirling arm”)**

La utilidad de los túneles es obvia hoy en día, pero no lo era en los comienzos de la aeronáutica. Las primeras medidas de fuerzas aerodinámicas se realizaban en el siglo XVIII con un instrumento llamado “whirling arm” (brazo giratorio), este aparato era simple y barato, y consistía en una especie de centrifugadora que se empleaba para mover el modelo a escala de la aeronave simulando las condiciones de vuelo y midiendo las diferentes fuerzas que actuaban sobre ella (FIGURA 1.1).

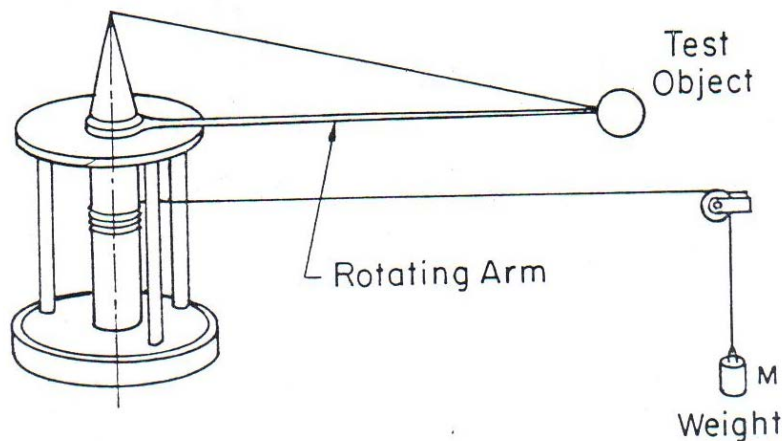


FIGURA 1.1. Brazo giratorio³⁷.

El primero en emplear este sistema fue el matemático inglés Benjamin Robins (1707-1751). Su máquina giraba gracias a una masa que caía y arrastraba el eje del artefacto haciendo girar el brazo, pero así se alcanzaban velocidades de unos pocos pies por segundo en la punta del brazo. Sr George Cayley (1773-1857), también empleó este sistema posteriormente y aunque mejoró el modelo de brazo giratorio diseñado por Robins, la aparición del túnel aerodinámico estaba aún por llegar.

El brazo giratorio proporcionó la mayoría de los datos aerodinámicos hasta finales del siglo XIX. Sin embargo los resultados estaban influenciados negativa-



mente por el movimiento de rotación del brazo, ya que se generaba mucha turbulencia y resultaba muy difícil determinar la verdadera velocidad relativa entre el modelo y el aire. Además, resultaba bastante complicado montar los instrumentos necesarios para medir las fuerzas que actuaban sobre el prototipo, sobre todo cuando el brazo giraba a elevadas velocidades. Por lo tanto era necesario algo mejor, el “túnel aerodinámico”.

- **El túnel aerodinámico**

Un túnel aerodinámico es un dispositivo científico formado por un conducto cerrado por donde circula el aire impulsado por uno o varios ventiladores. Normalmente, está formado por una contracción, un difusor, y una cámara de ensayos donde se introduce el modelo a escala. El funcionamiento consiste en hacer pasar una corriente de aire contralada por la cámara de ensayos para determinar las fuerzas que actúan sobre el modelo mediante los elementos de medida oportunos.

Frank H. Wenham (1824-1908), miembro del Consejo de la Sociedad Aero-náutica de Gran Bretaña, está considerado como el diseñador y creador del primer túnel de viento en 1871. Posterior a él hubo otros investigadores como Konstantín Eduárdovich Tsiolkovski (1857-1935) que contribuyeron al desarrollo de esta herramienta. A continuación se muestran por orden cronológico los primeros túneles aerodinámicos (*TABLA 1.1*) junto con su diseñador y su situación.

TABLA 1.1. Desarrollo cronológico de los túneles aerodinámicos.

FECHA	DESCRIPCIÓN	DISEÑADOR	SITUACIÓN
1871	Primer túnel aerodinámico	Frank Wenham	Gran Bretaña
1897	Primer túnel Ruso	Tsiolkovsky	Rusia
1901	Túnel de 16in X 16in	Wright Brothers	EEUU
1901	Túnel de 6ft X 6ft	Albert Zahm	EEUU
1904	Túnel Ruso	Riabouchinsky	Rusia



1909	Primer túnel cerrado	Prandtl	Alemania
1912	Túneles gemelos	Gustav Eiffel	Francia
1917	Primer túnel moderno	Prandtl	Alemania
1923	Túnel de densidad variable	Max Munk	EEUU
1927	Túnel de investigación de hélices	-	EEUU
1931	Túnel a escala real	Smith DeFrance	EEUU
1936	Primer túnel supersónico	-	Alemania
1936	Túnel Kirsten de alta velocidad	William Boeing	EEUU
1938	Túnel vertical	-	EEUU
1939	Túnel de alta velocidad (19 ft)	-	EEUU
1942	Primer túnel supersónico U.S.	-	EEUU
1944	AWT	Al Young	EEUU
1944	Túnel de 40 X 80 ft	Carl Bioletti	EEUU
1948	Túnel supersónico de 8 X 6 ft	-	EEUU
1955	Túnel supersónico de 10 X 10 ft	-	EEUU
1955	Túnel de propulsión	-	EEUU

1.1 Características básicas de un túnel aerodinámico

Para analizar las características básicas de un túnel aerodinámico es preferible emplear en la descripción uno de circuito cerrado (*FIGURA 1.2*), ya que a diferencia de uno de circuito abierto este presenta más elementos al tener retorno de flujo.

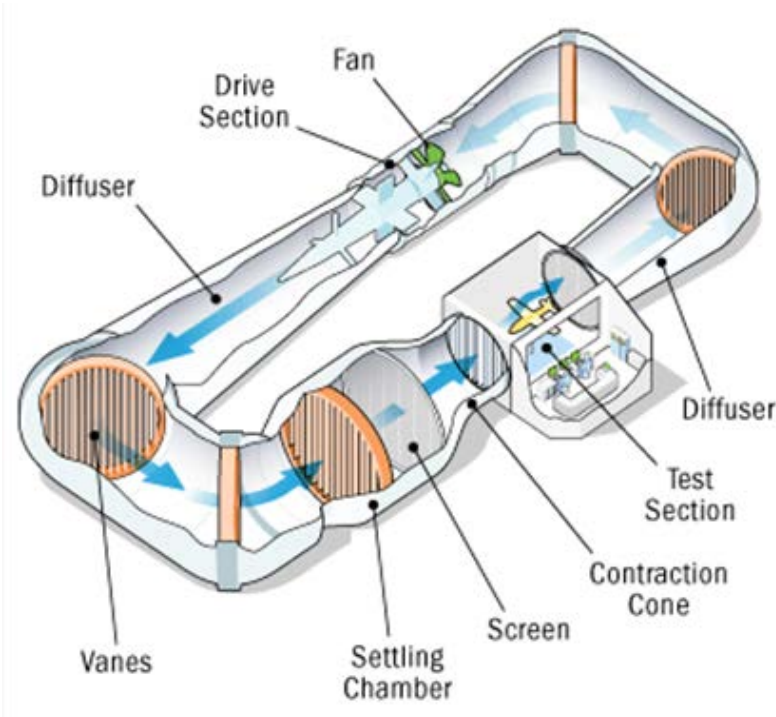


FIGURA 1.2. *Túnel aerodinámico de circuito cerrado*¹³.

Antes de comenzar a describir las partes de un túnel aerodinámico es necesario saber que estos se diseñan con un propósito específico y para un rango de velocidades concreto. Como veremos posteriormente hay una gran variedad de túneles y modelos de instrumentación.

El aire del interior es movido por la planta de potencia, constituida por uno o varios ventiladores. En el caso de ser varios ventiladores, éstos pueden estar divididos en varias etapas para incrementar la velocidad del aire del túnel. El ventilador o ventiladores están alimentados por motores eléctricos. Una vez que el aire es impulsado por el ventilador, llega a la esquina o codo donde se encuentran los deflectores. Estos deflectores están formados por un conjunto de perfiles generalmente curvos cuya función es minimizar las pérdidas de presión generadas por el cambio de dirección del flujo de aire. Una vez que el flujo de aire pasa por las esquinas se encuentra con las rejillas antes de entrar en la cámara de ensayos. El propósito de las rejillas es el de uniformizar el flujo para que al llegar a la cámara de ensayos la velocidad y el nivel de turbulencia sean lo más uniformes posible.



Un vez que el flujo supera las rejillas llega a la contracción, cuya finalidad es la de acelerar el flujo hasta la velocidad requerida en la cámara de ensayos. Posteriormente pasa por la cámara de ensayos, que es la parte en la que se sitúa el modelo y se realizarán las medidas oportunas en la cámara de ensayos. Seguidamente a la cámara de ensayos se encuentra el difusor, donde se reduce la velocidad del flujo, y por último se recircula el flujo de aire hasta llegar de nuevo a la sección de ventiladores.

1.2 Justificación de ensayos a escala en un túnel aerodinámico. Principios de semejanza

En los ensayos, por lo general se emplearán modelos a escala, pero para que el resultado de estos ensayos sea válido, será necesario que haya semejanza geométrica, cinemática y dinámica.

Semejanza geométrica hace referencia al modelo a ensayar (tanto objeto de ensayo como entorno cercano) deberá reproducir fielmente a escala aquellos elementos aerodinámicos significativos. La semejanza geométrica no tiene por qué ser una maqueta a escala que reproduzca cada detalle (ya que en ocasiones es físicamente imposible), sino los elementos más relevantes desde el punto de vista aerodinámico.

Se llama semejanza cinemática a dos flujos constituidos por líneas de corriente semejantes. Para conseguir que las líneas de corriente sean semejantes, las condiciones de la corriente incidente, deberán ser también semejante, es decir, las velocidades y aceleraciones en los puntos correspondientes son paralelas entre sí, y la relación entre sus módulos es constante para todos los conjuntos de puntos homólogos.

Por último, la semejanza dinámica implica que la distribución de fuerzas en los flujos es tal que en puntos homólogos las fuerzas de tipo idéntico son paralelas y la relación entre sus módulos es constante. De esta forma se podrán medir



a través de balanzas las fuerzas aerodinámicas sobre nuestro modelo y extrapolarlo al caso real. La semejanza dinámica exige que los flujos sean cinemáticamente semejantes (tanto en la realidad como en nuestro modelo) y que las densidades tengan el mismo valor en los puntos homólogos, es decir, que tengan distribuciones de masas semejantes.

Para poder establecer una correlación entre nuestro modelo a escala y el real, es necesario acudir al análisis dimensional. En aquellos fenómenos estacionarios en los cuales se puede despreciar la transferencia de calor, pueden tener importancia las variables de la *TABLA 1.2*.

TABLA 1.2. *Magnitudes fundamentales de los parámetros adimensionales.*

Variables	Unidades	Dimensiones
Presión, P	Pa	$ML^{-1}T^{-2}$
Longitud característica, l_c	m	L
Viscosidad dinámica, μ	$Pa \cdot s$	$ML^{-1}T^{-1}$
Tensión superficial, σ	$N \cdot m^{-1}$	MT^{-2}
Velocidad del sonido, C	$m \cdot s^{-1}$	LT^{-1}
Aceleración gravitatoria, g	$m \cdot s^{-2}$	LT^{-2}
Densidad, ρ	$kg \cdot m^{-3}$	ML^{-3}
Velocidad, V	$m \cdot s^{-1}$	LT^{-1}
Longitud de rugosidad del terreno, z_0	m	L
Tiempo característico, t_0	s	T

➤ Teorema de Π de Vaschy Buckingham

En este contexto es de vital importancia el Teorema π de Buckingham, el cual puede enunciarse como: "Si una función física F depende de n variables físicas, puede encontrarse un parámetro adimensional Π_i función de $n-k$ parámetros siendo m el número de unidades fundamentales del sistema de unidades físico



empleado”. Este teorema nos permite reducir el número de ensayos, reducir el número de variables que intervienen y aumentar o disminuir el tamaño del modelo.

A continuación se muestran los parámetros adimensionales que permiten estudiar la aerodinámica prescindiendo del tamaño de los objetos con la única condición de semejanza geométrica.

➤ **Número de Mach**

Es la relación entre la velocidad del fluido y la velocidad del sonido, o lo que es lo mismo, la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas que tienen su origen en la compresibilidad del fluido. El fenómeno que rige es la compresibilidad de los gases.

$$M_{\infty} = \frac{V_{\infty}}{C_{\infty}} = \frac{V_{\infty}}{\sqrt{\gamma \cdot Rg \cdot T}} \quad (1.1)$$

Este número es de gran importancia a grandes velocidades donde los efectos de la compresibilidad del fluido debido a la presión dinámica son muy significativos. Estos efectos de compresibilidad son apenas perceptibles si el número de Mach es pequeño ($M < 0.3$), sin embargo, para elevados números de Mach donde la compresibilidad sea evidente será necesario asegurar su conservación al ensayar con modelos a escala, éste es el caso de los ensayos aeronáuticos, donde incluso en el caso subsónico las velocidades son elevadas.

➤ **Número de Reynolds**

Expresa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas. El fenómeno que rige es la fricción por viscosidad y como consecuencia, tiene gran importancia en flujos dominados por viscosidad.



$$\text{Re} = \frac{\rho V_{\infty} l_c}{\mu} \quad (1.2)$$

Un valor del número de Reynolds muy pequeño significa que las fuerzas de viscosidad son grandes comparadas con las fuerzas de aceleración convectiva que actúa sobre el fluido, por lo que cualquier partícula fluida será amortiguada rápidamente, y como consecuencia el flujo será laminar. Si por el contrario el $\text{Re} \gg 1$ entonces los efectos son despreciables y la turbulencia generada en el fluido apenas será amortiguada y el flujo será casi siempre turbulento. De manera que el paso de laminar a turbulento depende de este parámetro.

➤ Número de Froude

Expresa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas dependientes de la aceleración gravitatoria.

$$\text{Fr} = \frac{V_{\infty}^2}{g l_c} \quad (1.3)$$

Aunque en algunas bibliografías a este número se le considera de la siguiente forma:

$$\text{Fr} = \sqrt{\frac{V_{\infty}^2}{g l_c}} \quad (\text{"Low - speed wind tunnel testing"})$$

Adquiere importancia principalmente en ensayos dinámicos en los cuales están involucrados el movimiento del modelo y las fuerzas aerodinámicas.

➤ Número de Euler

Expresa la relación entre las fuerzas de presión y las fuerzas de inercia.

$$\text{Eu} = \frac{p - p_{\infty}}{\rho V_{\infty}^2} \quad (1.4)$$

Aunque en los ensayos se suele emplear el coeficiente de presión, cuyo valor es el doble que el número de Euler.



➤ **Número de Prandtl**

Expresa la conducción de calor en fluidos, que es una propiedad que depende de la temperatura. Este parámetro es despreciable cuando el flujo tiene baja velocidad y el aire tiene un comportamiento calorífico perfecto.

$$Q = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (1.5)$$

siendo C_p calor específico a presión constante y k la conductividad térmica.

➤ **Número de Strouhal**

Expresa la influencia de los movimientos no estacionarios, siendo su valor el cociente entre el tiempo de resistencia de una partícula y el tiempo característico. Si su valor es bajo, el movimiento puede considerarse estacionario.

$$St = \frac{l_c}{V_\infty t_0} \quad (1.6)$$

En el caso de que ensayemos un movimiento periódico, se cambia el tiempo característico por el inverso de este, la frecuencia " f ".

$$St = \frac{l_c f}{V_\infty} \quad (1.7)$$

➤ **Número de Jensen**

Expresa la relación entre la longitud característica de nuestra maqueta y la longitud de rugosidad del terreno.

$$Je = \frac{l_c}{z_0} \quad (1.8)$$

El uso de este número se reduce principalmente a la aerodinámica civil, y con su conservación se pretende conseguir una turbulencia dentro del túnel que tenga la misma forma que el flujo del viento natural. Si $Je > 2000$, entonces los resultados son prácticamente independientes de este parámetro.



➤ **Número de Cauchy**

Este número juega un papel importante en la semejanza de las propiedades elásticas. Por lo tanto será un parámetro fundamental cuando se pretenda estudiar el comportamiento de una estructura.

$$Ca = \frac{E_{ef}}{\rho V_{\infty}^2} \quad (1.9)$$

siendo E_{ef} el módulo de Young de nuestro objeto de ensayos.

➤ **Número de Grashof**

Expresa la relación entre las fuerzas de flotabilidad por dilatación térmica del fluido y las fuerzas viscosas.

$$Gr = \frac{g l_c^3 \beta \Delta T}{\nu} \quad (1.10)$$

siendo β el coeficiente de expansión del fluido, ΔT el incremento o disminución de temperaturas características y ν la viscosidad cinemática del fluido (μ/ρ).

➤ **Número de Weber**

Expresa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas debidas a la tensión superficial.

$$We = \frac{\rho V_{\infty}^2 l_c}{\sigma} \quad (1.11)$$

Este parámetro es significativo en fenómenos a escala muy pequeña y requiere la existencia de superficies libres.


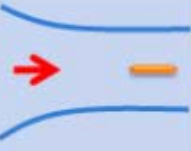
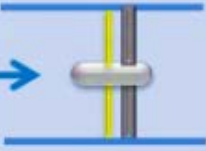

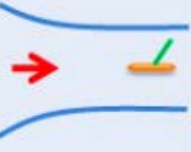

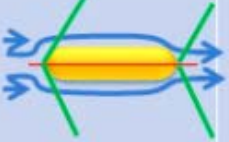

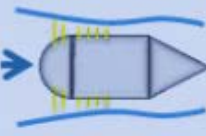
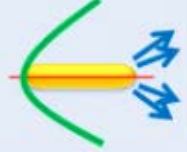


1.3 Clasificación general de los túneles aerodinámicos

Hay una gran variedad de clasificaciones posibles dependiendo de si nos referimos a la velocidad del flujo, a la geometría, al tipo de cámara de ensayos, etc. A continuación se describirán algunas de estas clasificaciones.

1.3.1 Según el Mach de funcionamiento

En la *TABLA 1.3* se puede ver un esquema de los distintos tipos de túnel según el Mach de funcionamiento.

TABLA 1.3. Clasificación de los túneles aerodinámicos según su Mach de funcionamiento.

Régimen de Velocidad	Flujo Típico (Modelo)	Sección de Entrada	Radio de Compresión	Motor o sistemas de motor
Subsónico ($M = 0 - 0.7$)			1.0+	
Transónico ($M = 0.7 - 1.2$)			1.1	
Supersónico ($M = 1.2 - 5$)			2 ($M = 2$)	
Hipersónico ($M > 5$)			20 ($M = 5$)	



➤ Subsónico o de baja velocidad

En este tipo de túneles la velocidad máxima está por debajo de Mach 1. Son más rentables debido a la velocidad del aire y a la simplicidad en el diseño.

En el próximo apartado se profundizará en el estudio de este tipo de túneles de baja velocidad.

➤ Transónico

En estos túneles la velocidad en la cámara de ensayos oscila entre Mach 0.85 y 1.2. Los ensayos que se llevan a cabo en este régimen pueden ser de corta o larga duración. En los túneles de este tipo que son de funcionamiento continuo la diferencia de presión puede ser originada por uno o varios ventiladores, o bien, por un compresor.

En los túneles de funcionamiento intermitente, la diferencia de presión es producida por un compresor o una cámara de vacío. El aire es altamente comprimido antes de cada ensayo y se descarga a través de una válvula a la cámara de tranquilización del túnel, y pasando por la cámara de ensayos se vierte a la atmósfera. La duración de los ensayos en un túnel de funcionamiento intermitente depende normalmente del compresor o del volumen de la cámara de vacío, variando entre 1 y 5 minutos.

Para $M < 1$ la forma del túnel puede ser similar a la de un túnel subsónico, puesto que es a $M = 1$ cuando el flujo se hace inestable y se forman ondas de choque. Como la velocidad del flujo libre aumenta, se alcanza un valor crítico en algunos puntos de la superficie del modelo en los cuales se alcanzan velocidades sónicas a pesar de que en el ensayo la velocidad sea subsónica. A este número de Mach se le denomina Mach crítico (M_{cr}) y su valor depende de la geometría del modelo. Cuando se alcanza esta velocidad en algunas partes del modelo, la perturbación se propaga hasta las paredes de la cámara de ensayos, pudiendo causar



el bloqueo del mismo. Una parte del modelo está en régimen sónico y otra en régimen supersónico. La falta de métodos para tener en cuenta los diferentes patrones del flujo hacen que sea muy difícil conseguir unos resultados fiables basándose en las mediciones, por lo que el bloqueo es un fenómeno que hay que evitar en la medida de lo posible.

➤ **Supersónicos**

Los túneles supersónicos utilizan un rango de velocidades de entre Mach 1.2 y 5. Al igual que los transónicos pueden ser de funcionamiento continuo o intermitente, por lo que se diseñan con el equipamiento correspondiente. Sin embargo, la forma aerodinámica de los túneles supersónicos, desde la cámara de tranquilización al difusor, son independientes del funcionamiento del mismo. En general, las cámaras de ensayos en un túnel supersónico son rectangulares para facilitar el estudio óptico y simplificar el diseño del túnel.

➤ **Hipersónicos**

Las velocidades para estos túneles es de $M > 5$. A estas velocidades se realizan ensayos de aviones supersónicos, proyectiles y cohetes, para el caso de estos últimos es necesario conocer los fenómenos que se producen durante la reentrada a la atmósfera donde se alcanzan velocidades cercanas a $M=20$.

Cuando los vehículos aéreos se mueven a estas velocidades aparecen fenómenos físicos originados por el aumento de la temperatura. A temperaturas de 1500 o 2000 K, se produce la disociación de los gases que se encuentran en el aire y aumenta la excitación de las moléculas cambiando las características físicas y químicas del aire.

La ionización de los componentes de la atmósfera se hace cada vez más pronunciado para temperaturas de entre 2000 a 3000 K, que corresponde a veloci-



dades de más de 6 km/s, apareciendo así un gran número de cargas positivas y negativas, y formándose nuevas clases de gases no contenidos en la atmósfera convencional. La presencia de partículas ionizadas hace que la conductividad de los gases y las fuerzas electromagnéticas provoquen cambios importantes en la capa límite.

Como es evidente, es bastante difícil reproducir estas condiciones en un laboratorio. Los ensayos hipersónicos han dado lugar a nuevos criterios de semejanza como la relación de calores específicos. Además la medida de las fuerzas y la distribución de presiones, son necesarias para estudiar los cambios térmicos entre el medio y el modelo. Aun así, en la práctica es imposible conseguir unas condiciones similares en un laboratorio, por ello se observan solo los fenómenos más destacados que afectan a los parámetros de interés.

1.3.2 Según el circuito seguido por el flujo

Los túneles aerodinámicos se pueden clasificar en dos tipos básicos, de circuito abierto o de circuito cerrado. Sin embargo hay una gran variedad de tipos que se han generado como consecuencia de variaciones en sus características específicas y que se describirán brevemente en apartados posteriores.

El flujo de aire a través de un túnel aerodinámico de circuito abierto es acelerado por uno o varios ventiladores que pueden estar situados a la entrada o a la salida y sigue una trayectoria rectilínea. En primer lugar hay una contracción para acelerar el aire, posteriormente el flujo pasa a la cámara de ensayos, a continuación se encuentra el difusor cuya función es la de reducir la energía cinética de la masa de aire, y por último sale al exterior.

En un túnel aerodinámico cerrado el flujo está en una constante recirculación y sus elementos principales son iguales a los del túnel abierto (ventilador o ventiladores, contracción, cámara de ensayos y difusor), con la salvedad de que



tiene retorno y por lo tanto esquinas. A continuación se muestran las ventajas e inconvenientes de cada tipo.

➤ **Circuito abierto**

Este tipo de túneles presentan una serie de características que los diferencian de los de circuito cerrado, las cuales se exponen a continuación (*FIGURA 1.3*).

Entre sus ventajas se pueden destacar:

- Costes de construcción menores.
- Si se produce humo en el motor o se emplea humo para mejorar la visualización de los ensayos, no hay ningún problema ya que tanto la entrada como la salida están abiertas a la atmósfera.

Y entre sus inconvenientes:

- Si está localizado en una nave industrial, dependiendo del tamaño del túnel y de la nave o recinto en el que se aloje puede ser necesario dejar un espacio considerable entre la entrada y la pared para obtener una calidad alta del flujo.
- Para un tamaño y velocidad del túnel dada, requerirá una mayor energía.
- En general, un túnel aerodinámico abierto es muy ruidoso.

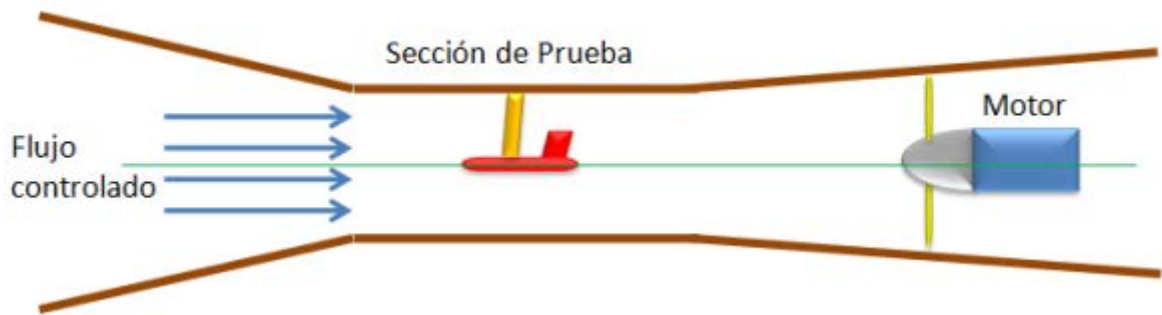


FIGURA 1.3. Esquema de un túnel aerodinámico de circuito abierto.

➤ Circuito cerrado

Al igual que en el caso anterior, los túneles de circuito cerrado tienen ventajas e inconvenientes respecto a los de circuito abierto, las cuales se nombran a continuación.

Entre sus ventajas destacan que:

- A través del uso de rejillas y deflectores que se emplean en las esquinas, se puede controlar la calidad del flujo y lo más importante es que éste será independiente de otros factores y actividades como las condiciones climáticas.
- Requeriría menos energía para un tamaño y velocidad del túnel dado. Esto es especialmente interesante para túneles que se están usando constantemente
- Es menos ruidoso.

Y entre sus inconvenientes:

- El coste inicial es caro debido al conducto de retorno y a las esquinas.
- Si el túnel se emplea para realizar ensayos mediante humo para mejorar la visualización de los mismos, o si se produce el incendio del motor debe haber alguna forma de limpiar el túnel.

- Si el túnel es muy utilizado puede ser necesario un recambio de aire o un sistema de refrigeración.

En la *FIGURA 1.4* se representan los elementos más característicos de un túnel de circuito cerrado.

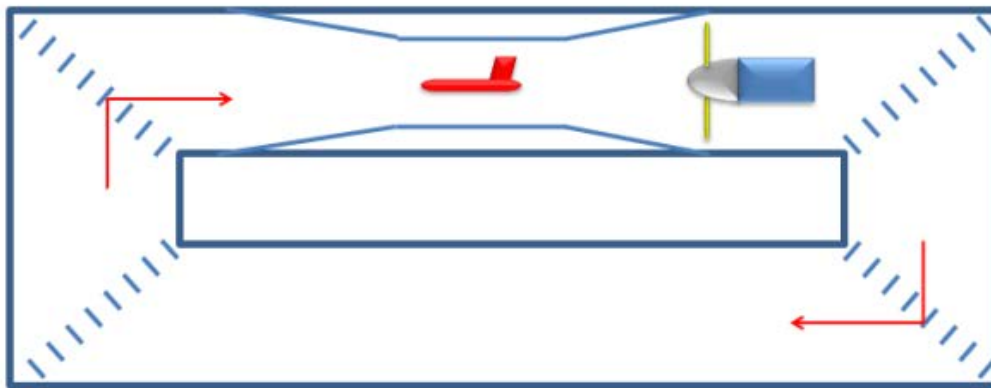


FIGURA 1.4. Esquema de un túnel aerodinámico de circuito cerrado.

1.3.3 Según el tipo de cámara de ensayos

Dependiendo del tipo del túnel aerodinámico, será más conveniente emplear un tipo u otro de cámara de ensayos. Si tenemos un túnel de circuito abierto y empleamos una cámara de ensayos abierta será necesario crear un recinto en la cámara de ensayos para evitar que entre aire al túnel que no sea el proveniente de la entrada.

Sin embargo si nuestro túnel es de circuito cerrado y empleamos una cámara de ensayos abierta podrían generarse severos problemas en las fluctuaciones del flujo las cuales requieran amplias medidas correctivas y diagnósticos de post-construcción.

Como consecuencia de estos problemas, las cámaras de ensayos más comunes son las cerradas. A continuación se presentan ambos tipos.

➤ Cámara de ensayos abierta

Se trata de una cámara de ensayos abierta a la atmósfera la cual carece de paredes que guíen el flujo. En la *FIGURA 1.5* se muestra el túnel aerodinámico de Maibara, Japón.

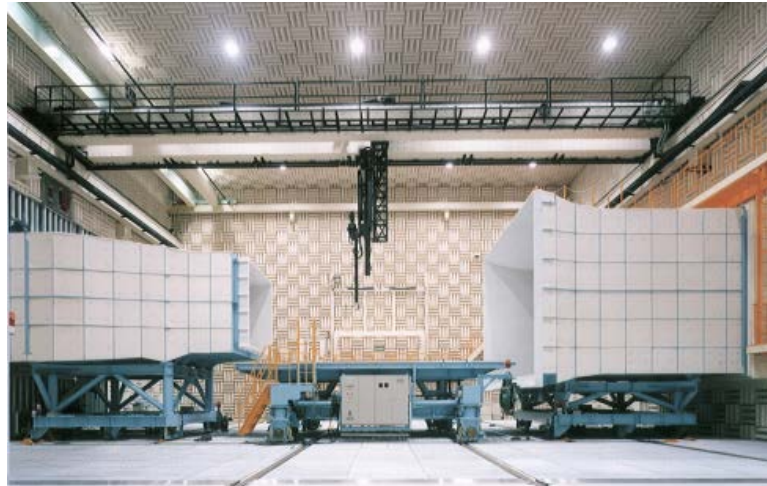


FIGURA 1.5. Túnel aerodinámico Maibara, Japón⁴.

➤ Cámara de ensayos cerrada

Este tipo de cámaras tienen unas paredes que la cierran impidiendo que salga o entre flujo. A continuación se muestra una imagen del Onera S1MA (*FIGURA 1.6*).



FIGURA 1.6. Cámara de ensayos del Onera S1MA⁵.

1.4 Clasificación de los túneles aerodinámicos según su finalidad

Hay una gran variedad de tipos de túneles que clasificaremos según la función que desempeñen en: túneles aeronáuticos, de humo, automovilísticos, aerocústicos, de agua, de propósito general y medioambientales.

➤ Túneles aerodinámicos aeronáuticos

Puesto que los túneles aerodinámicos tienen su origen en la aeronáutica, es de esperar que uno de los tipos más importantes de túneles pertenezca a este campo. Dentro de este ámbito podemos distinguir entre diferentes clases de las cuales solo se muestran los más destacados a continuación.

- Túneles de alto número de Reynolds

A menudo no es posible obtener un gran número de Reynolds cuando utilizamos grandes modelos en una instalación experimental. Sin embargo hay métodos para aumentar el número de Reynolds con pequeños túneles y modelos.

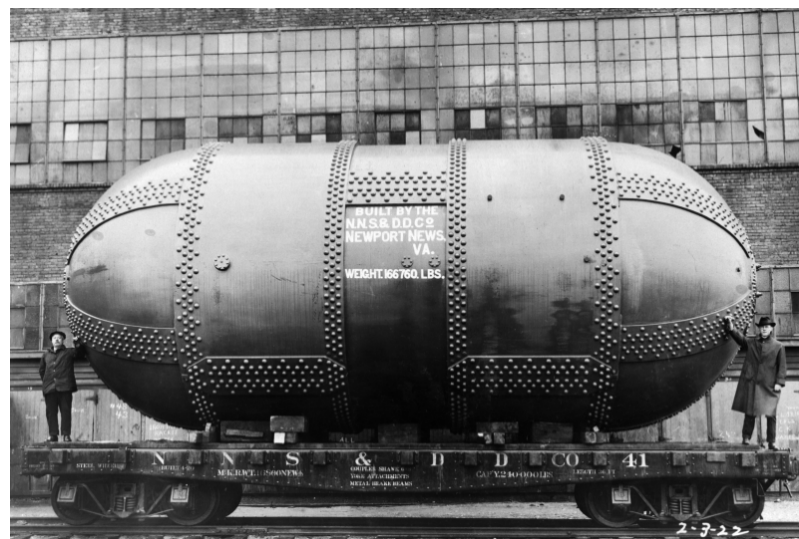


FIGURA 1.7. Túnel de densidad variable NACA (VDT)¹³.

Uno de los antiguos métodos de construcción de los túneles era mediante la presurización del mismo. La razón por la cual se presurizaba el túnel era para poder examinar la ecuación de los gases ideales y el número de Reynolds. De forma que si se aumentaba la presión en un factor de 20, la densidad, y el número de Reynolds para una velocidad y tamaño dado aumentaban en un factor de 20.

Los inconvenientes de estos tipos de túneles son los costes de construcción y de operación en cada presurización. Un ejemplo de este tipo de túnel se muestra en la *FIGURA 1.7*.

- **Túneles V/STOL**

La finalidad de estos túneles es la de ensayar el despegue y el aterrizaje vertical, mientras se opera en la región comprendida entre el vuelo vertical y vuelo de crucero (régimen de transición). Estos túneles son aptos para realizar ensayos de aviones como el Harrier o el Bell Boeing V-22 (*FIGURA 1.8*).



FIGURA 1.8. Bell Boeing V-22.



Por otra parte requieren una mayor cámara de ensayos para un tamaño del modelo dado, debido a los ángulos de caída del flujo generados por los sistemas de potencia en el régimen de vuelo de transición. Las velocidades de vuelo en el régimen de transición son bajas y de esta forma los túneles que tienen una gran cámara de ensayos y que son usados para este propósito no necesitan grandes velocidades. Dado que la potencia varía con el cubo de la velocidad, esto reduce las sollicitaciones de la planta de potencia instalada.

- **Túneles verticales**

La tendencia de algunos aviones a entrar en barrena después de una pérdida, la cual se produce cuando se sobrepasa el punto máximo de la curva de sustentación, y la necesidad de determinar acciones para conseguir recuperar al avión de la barrena, ha causado enormes problemas y ha sido una de las causantes de la aparición de este tipo de túneles.

El túnel vertical es un tipo especial de túnel cuyo flujo en la cámara de ensayos es vertical y ascendente, y tiene una velocidad suficiente para que los modelos a escala puedan estar suspendidos mientras giran, analizando así, la recuperación de la barrena.

- **Túneles de baja turbulencia**

Están diseñados para tener una turbulencia extremadamente baja en la corriente de aire. Su característica principal es que presentan una gran contracción así como el uso de rejillas para reducir la turbulencia en la cámara de ensayos.

➤ Túneles de humo

El origen de estos túneles estuvo en la necesidad de visualizar el comportamiento del flujo. Normalmente se trata de túneles sin retorno y de baja velocidad. Se han construido tanto de dos como de tres dimensiones. Para producir el humo se han empleado sustancias que favorecen la visualización de los ensayos como es el caso de aceites, queroseno o propilenglicol entre otros. En la *FIGURA 1.9* se muestra un Pagani Zonda realizando un ensayo en un túnel de humo.



***FIGURA 1.9.** Pagani Zonda en un túnel de humo⁹.*

La tendencia de estos túneles es la de tener grandes relaciones de contracción (24:1), así como el uso de rejillas para reducir la turbulencia obteniendo un flujo laminar. El humo es inyectado justo antes del modelo y a la entrada del túnel. El humo se emplea también en túneles de propósito general, pero rara vez se consiguen resultados tan buenos como en un túnel diseñado con tal fin.

➤ Túneles automovilísticos

El uso de estos tipos de túneles en la industria automovilística está siendo cada vez más demandado. La competitividad entre las marcas y la necesidad de diseñar automóviles más eficientes ha sido la razón por la que prácticamente todos los prototipos modernos son sometidos a pruebas en un túnel aerodinámico.

- ***De flujo externo***

Este tipo de túneles está basado en el estudio de la aerodinámica exterior. El propósito es el de mejorar la aerodinámica para poder reducir el consumo de combustible, además de conseguir mejores diseños haciendo que los productos sean más atractivos para los clientes y así poder diferenciarse del resto de marcas.

- ***Climáticos***

Son aptos para analizar el sistema de transmisión, aire acondicionado, puertas y ventanas a través de simulaciones climáticas de frío-calor y mediante ciclos de funcionamiento elegidos arbitrariamente.

Estas instalaciones tienen la capacidad de calentar o enfriar la corriente de aire, para simular diferentes condiciones climatológicas. Un ejemplo de este tipo de ensayos se muestra en la *FIGURA 1.10*.

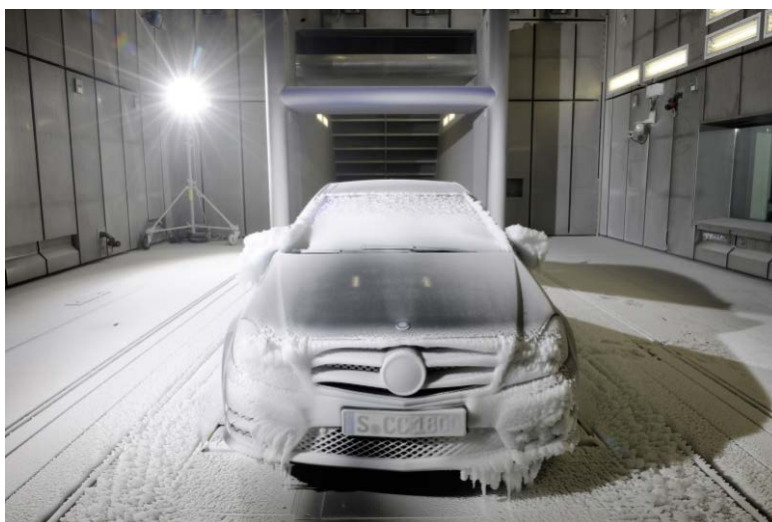


FIGURA 1.10. Mercedes-Benz en un túnel climático.

➤ Túneles aeroacústicos

La mejora del entendimiento de los principios aeroacústicos y de la instrumentación, que permita obtener una medida útil en presencia de un ruido de fondo más alto, unido a la demanda de los usuarios de obtener un vehículo más silencioso han dado lugar a un incremento de la actividad de los estudios aeroacústicos. Por ello se han adaptado para este fin muchos túneles de propósito general.

➤ Túneles de agua

Estos túneles son usados esencialmente con el mismo principio que los de viento. Su utilización se centra en el estudio de los fenómenos de cavitación que no puede ser estudiado mediante los túneles de viento. Normalmente suelen ser pequeños para conseguir el mismo número de Reynolds. La *FIGURA 1.11* muestra un ensayo en un túnel de agua.



FIGURA 1.11. Ensayo en un túnel de agua¹⁰.

➤ Túneles de propósito general

La necesidad de realizar ensayos de diferentes tipos unido a las limitaciones económicas de las empresas, han dado lugar al surgimiento de esta clase de túneles.



FIGURA 1.12. Ciclista en un túnel aerodinámico¹¹.

Estos túneles no están diseñados para ningún tipo de ensayo concreto, sino todo lo contrario, su finalidad es la abarcar la mayor cantidad posible. Entre ellas se encuentran muchas de las vistas anteriormente e incluso otras aplicadas a otros ámbitos como el deporte de alta competición, antenas y satélites, puentes, etc. En la FIGURA 1.12 podemos ver a un ciclista haciendo ensayos en un túnel multipropósito.



➤ Túnele medioambientales

Están diseñados para simular las leyes y fenómenos de la naturaleza. Son usados para determinar las cargas ejercidas por el viento sobre los edificios, los patrones de dispersión de la contaminación atmosférica, la erosión del suelo, etc.

Los métodos experimentales para estudiar el medio ambiente se hacen primero en un túnel de propósito general, y conlleva un esfuerzo considerable el simular las leyes de la naturaleza en un espacio tan reducido. Sin embargo, los métodos que se han desarrollado en las últimas dos o tres décadas han sido bastante sofisticados como para hacer frente y reproducir los vientos no uniformes e inestables y sus efectos.



(Página intencionadamente en blanco)



2. PRELIMINAR



(Página intencionadamente en blanco)



2 PREDISEÑO

2.1 Introducción

El primer paso en el diseño de un túnel aerodinámico es determinar el tamaño y forma de la cámara de ensayos basándose para ello en el propósito del túnel. Además será necesario conocer la velocidad requerida en la cámara de ensayos puesto que eso determinará la planta de potencia necesaria. También será de vital importancia para la empresa predeterminar los costes que conlleva poner en funcionamiento y fabricar el túnel, no sólo hay que tener en cuenta los salarios del personal, sino también los costes eléctricos. De forma que en el diseño de un túnel hay que considerar los costes iniciales y de operaciones.

El objetivo de un túnel aerodinámico es obtener un flujo de aire en la cámara de ensayos que sea lo más estable y paralelo posible, con una velocidad uniforme en su paso por la cámara de ensayos. Puesto que la perfección no es posible, cada diseño está sujeto a restricciones económicas, de espacio, tiempo, conocimiento, etc. A continuación se expondrán las consideraciones fundamentales para el diseño de un túnel aerodinámico.

2.2 Consideraciones de diseño

Para diseñar un túnel aerodinámico debemos de tomar algunas decisiones fundamentales como el número de Reynolds del ensayo, el tamaño de la cámara de ensayos, si el túnel será de circuito abierto o cerrado, si la cámara de ensayos será abierta o cerrada, etc.

➤ Irregularidades del flujo

Las irregularidades que puede presentar un túnel aerodinámico es una de las consideraciones más importantes debido a que genera pérdidas, las cuales será



necesario compensar con la planta de potencia. Estas irregularidades pueden ser causadas por los siguientes efectos:

- Flujo no uniforme. La velocidad media del túnel puede no ser uniforme.
- Torbellinos. El flujo puede girar alrededor de un eje paralelo a la dirección del movimiento y normalmente se encuentra cerca de la línea central del túnel. El resultado de este fenómeno es que la velocidad varía a lo largo de la sección transversal.
- Pulsaciones de baja frecuencia. El flujo puede estar sujeto a pulsaciones de baja frecuencia de la velocidad media. Estos fenómenos se producen normalmente en el circuito de retorno pero su procedencia es difícil de determinar. Se han producidos varios casos en los que aparece automáticamente cuando se originan otro tipo de irregularidades.
- Turbulencia. La turbulencia es seguramente la fuente de irregularidad más importante a tener en cuenta en el diseño de un túnel aerodinámico.

➤ Efectos de la turbulencia

En un túnel aerodinámico el flujo nunca es completamente uniforme y estable. En particular, los pequeños remolinos de tamaño e intensidad variable están siempre presentes y son los que generan la turbulencia de la corriente. Es importante diferenciar correctamente entre las variaciones que sufre la velocidad con el tiempo, que es la turbulencia y las variaciones que sufre la velocidad en la sección transversal, que se refieren a flujo no uniforme.

Si la intensidad de la turbulencia en la sección de la cámara de ensayos es lo suficientemente grande puede desencadenar mediciones incorrectas debido a una transición desfavorable. Es decir, la transición de la capa límite de laminar a turbulento se ve modificada respecto a su valor real y por lo tanto en el ensayo no se reproducen las condiciones adecuadas. Pequeñas variaciones en la turbulencia

del flujo libre pueden modificar el comportamiento de la capa límite, el flujo alrededor de la superficie del modelo, etc.

En la *FIGURA 2.1* se pueden ver dos casos distintos de capa límite. En el primero de ellos la capa límite es laminar y rápidamente se desprende. Sin embargo el segundo caso que corresponde a una pelota de golf comienza con una capa límite laminar pasando a continuación a una capa límite turbulenta y finalmente se produce el desprendimiento.

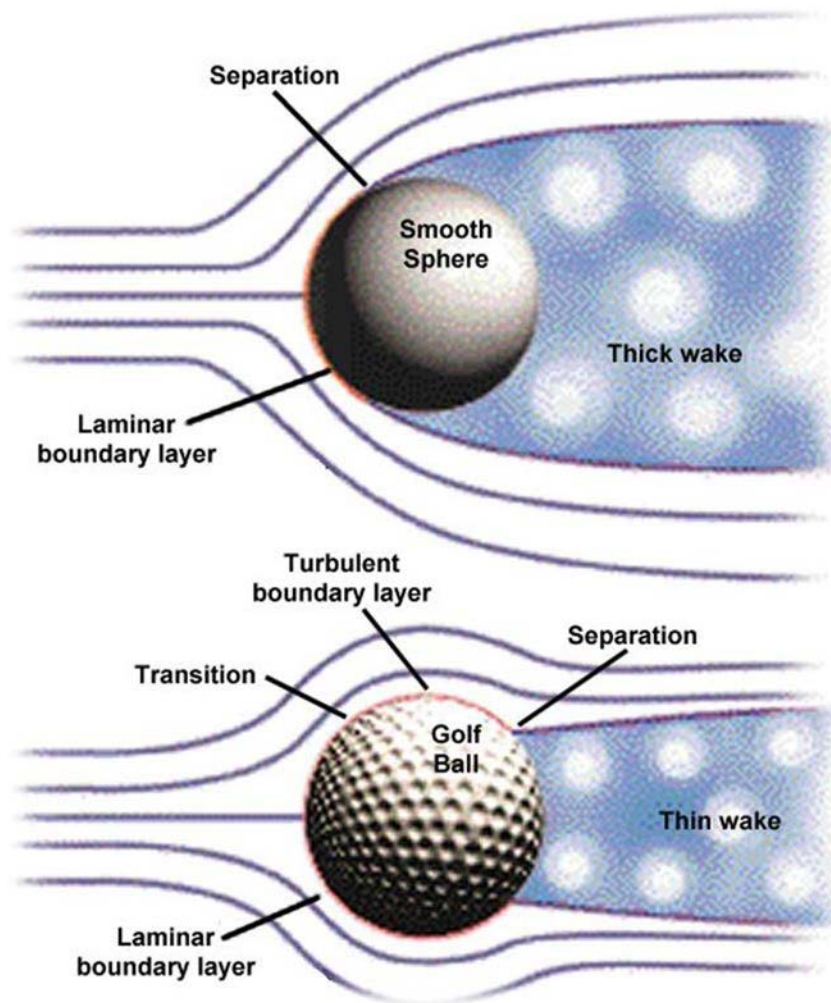


FIGURA 2.1. *Diferentes tipos de capa límite*¹⁸.

Cuando se ensayan cuerpos como perfiles aerodinámicos a bajo número de Reynolds, en una corriente de baja turbulencia, la separación del flujo laminar se



puede producir cerca del borde de ataque. Si la turbulencia del flujo aumenta, la transición a flujo turbulento puede tener lugar antes de la posición en la que se producía la separación del flujo laminar. Entonces el flujo resultante puede ser similar al producido con altos números de Reynolds.

Los cuerpos de baja resistencia, sin embargo, para los cuales la posición del máximo espesor está lejos de la zona donde incide el flujo, se caracterizan porque tienen una gran región de la superficie en la que la capa límite es laminar para el número de Reynolds de vuelo, siempre que la superficie sea suficientemente lisa. Cuando se hacen ensayos para bajo número de Reynolds y en un flujo de baja turbulencia se puede producir el desprendimiento de la capa límite laminar en lugar de producirse la transición a turbulento con el posterior desprendimiento de la capa límite turbulenta. En un túnel de baja turbulencia, sin embargo, se puede desplazar hacia delante considerablemente: la capa límite durante la mayor parte de la superficie será turbulenta en lugar de laminar, y habrá grandes cambios en los coeficientes aerodinámicos. Puesto que los componentes de los aviones modernos son normalmente de baja resistencia no es posible simular los efectos de aumento del número de Reynolds mediante aumento de la turbulencia. A mayor número de Reynolds, mayores son los efectos de la turbulencia del túnel, ya que la estabilidad de las regiones con capa límite laminar decrece a medida que aumenta el número de Reynolds.

Es interesante tener en cuenta que muchas de las características de diseño que se conocen y que están encaminadas a bajas turbulencias están además diseñadas para reducir los costes de energía. Los principales métodos para reducir la turbulencia son rejillas y paneles *honeycombs*. En apartados posteriores se profundizará en el estudio de ellos.



➤ Efectos del ruido

El ruido en un túnel de circuito cerrado tiene dos orígenes principales que son la planta de potencia (ventilador o ventiladores) y el movimiento irregular de los torbellinos en la capa límite. El primero de ellos se puede reducir ligeramente si el diseño general es eficiente, si el diseño de los ventiladores es adecuado, y si se garantiza que la velocidad máxima es baja. Además, el flujo próximo a la planta de potencia debería ser tan uniforme como fuera posible. En algunos túneles de circuito cerrado, se han observado ondas estacionarias en la cámara de ensayos, las cuales surgen de la interferencia de las perturbaciones producidas en el ventilador, y recorren el circuito del túnel en sentido contrario. La disminución de turbulencia por lo tanto, puede estar acompañada por un aumento del ruido. El ruido es particularmente indeseable si se realiza una medición de la turbulencia, ya que puede contribuir por sí mismo a una parte de la medida alterando los resultados. Por otra parte, el ruido resulta especialmente molesto para los trabajadores que están en contacto permanente con el túnel.

➤ El número de Reynolds

El valor de este parámetro nos permite determinar cuando el desprendimiento que se produce en el modelo a escala y en la realidad es más o menos parecido.

Para muchos estudios no es necesario el número de Reynolds para reproducir un ensayo a gran escala, pero debe ser un valor razonable. La mayoría de los ensayos se llevan a cabo para aviones en configuración de despegue y aterrizaje donde el número de Mach oscila entre 0.15 y 0.3.

Una de las primeras consideraciones debe de ser la elección de un valor del número de Reynolds mínimo que sea aceptable. Porque en muchos de los ensayos que se realizan a baja velocidad se producen elevadas fuerzas aerodinámicas, y el efecto del Reynolds en perfiles sometidos a grandes cargas aerodinámicas debe de



ser tenido en cuenta. La sustentación máxima y la forma de la curva de sustentación en lugares cercanos a la pérdida, en el caso de un solo perfil, puede sufrir variaciones importantes si el número de Reynolds aumenta o disminuye un millón. Sin embargo para un conjunto de perfiles, el rango es mayor, pero el valor de este parámetro sigue siendo fundamental.

➤ **Tamaño de la cámara de ensayos**

Normalmente este suele ser el punto de partida en el diseño de un túnel aerodinámico. La consideración fundamental en la cámara de ensayos es el área para la cual se escogerá la planta de potencia. La segunda consideración es una combinación de utilidad y aerodinámica. Para una sección de la cámara de ensayos dada una cámara de mayor anchura podría emplearse para ensayar modelos de mayor envergadura, pero para relaciones de altura-anchura superiores a 7-10 el efecto producido por la pared del túnel puede variar ampliamente poniendo en duda la veracidad de los datos obtenidos.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones la cámara varía considerablemente en función del elemento a ensayar (aviones, automóviles, submarinos, veleros, etc.).

➤ **Cámara de ensayos abierta o cerrada**

Este es otro de los factores a tener en cuenta antes de construir un túnel aerodinámico. Un túnel de cámara abierta tendrá una relación de potencia menor que uno de cámara cerrada. Si empleamos una balanza externa, la balanza normalmente tiende a estar protegida del chorro de aire y una de las alternativas es la de cerrarla. Las cámaras abiertas tienen algunas limitaciones como que no sirven para túneles de circuito abierto cuyo aire esté impulsado con una planta de potencia situada en el difusor, a menos que, la cámara de ensayos esté encerrada en



un cuarto con aire estancado. Una de las ventajas de las cámaras abiertas es la facilidad para acceder al modelo en túneles pequeños. No obstante en túneles grandes requiere el montaje de andamios para algunos tipos de modelos. El montaje y desmontaje de andamios incrementa el tiempo de los ensayos dando lugar a un aumento en el coste.

➤ **Circuito abierto o cerrado**

Otra consideración básica es si el túnel tendrá o no circuito de retorno. La mayoría de los túneles pequeños de investigación no lo tienen, principalmente por motivos económicos. Y aunque existen túneles de grandes dimensiones de circuito abierto, la mayoría son de circuito cerrado. En el capítulo anterior se especifican las ventajas e inconvenientes de cada una de las dos configuraciones, por lo tanto estas serán tenidas en cuenta en el diseño del túnel.

➤ **Fenómenos de bloqueo en la cámara de ensayos**

Como ya se ha comentado anteriormente, habrá que evitar este fenómeno a toda costa. Para evaluarlo se recurren a comparaciones con datos de referencia o se puede modelizar el flujo potencial de nuestro modelo³⁸. Este fenómeno se produce por la presencia de un sólido en la cámara de ensayos que reduce el área por la que puede pasar el aire. De esta forma el aire aumenta su velocidad alrededor del modelo. Numerosos ensayos reflejan que para relaciones de áreas entre el modelo y la cámara de ensayos menores o iguales al 8% este fenómeno es despreciable.



2.3 Prototipo inicial

Una vez evaluadas todas las consideraciones anteriores, se presenta en la *FIGURA 2.2* un primer prototipo del túnel donde se detallan las medidas de los elementos principales. Otras consideraciones de partida es que la velocidad máxima en la cámara de ensayos será de unos 40 m/s, que la disposición del túnel será en una única planta y que será un túnel multipropósito. La razón de que esté colocado en una sola planta y de que la longitud sea tan grande es que se supone que no hay límite de espacio ni de presupuesto.

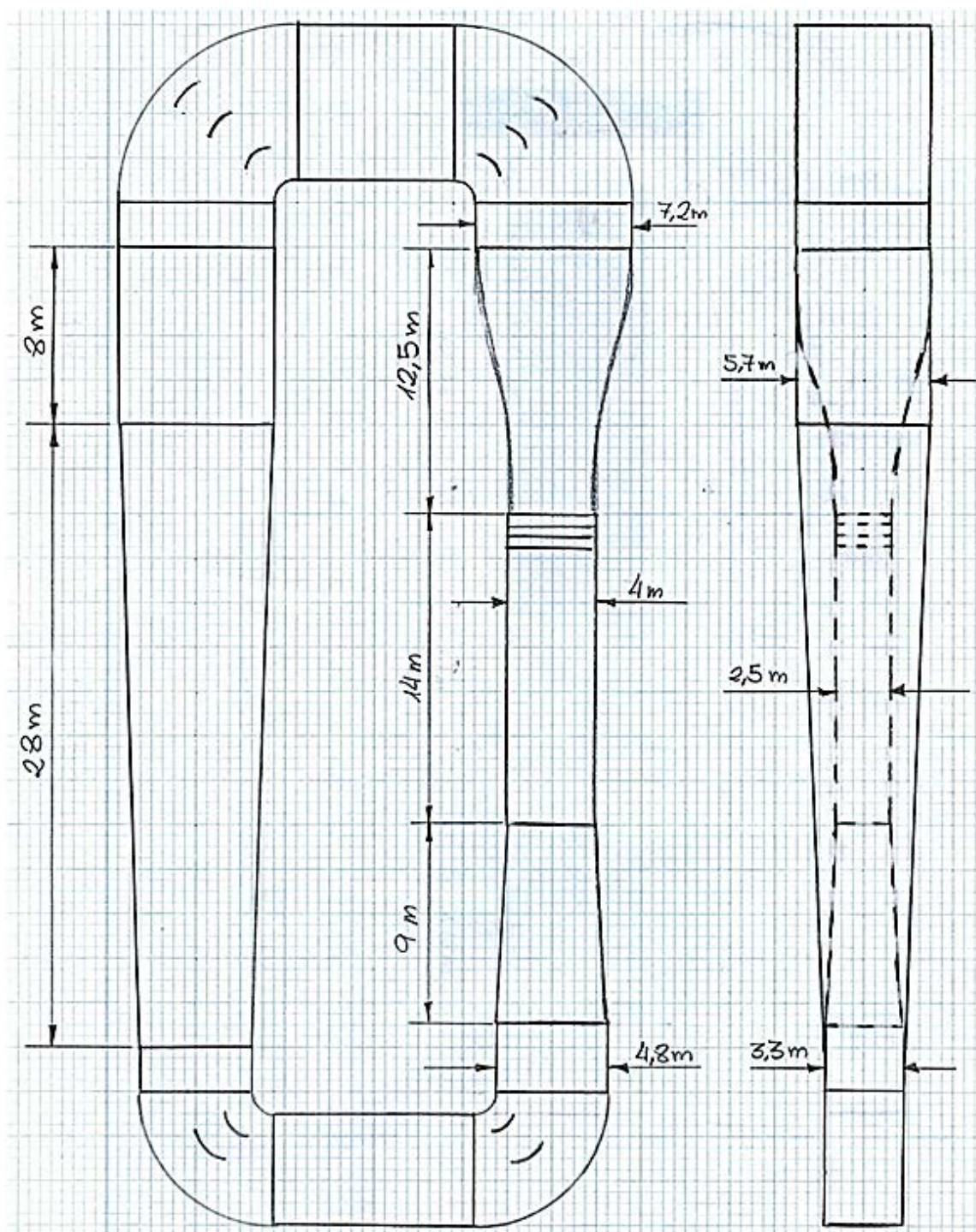


FIGURA 2.2. Prototipo inicial del túnel aerodinámico.



2.4 Tipo de ensayos

Los ensayos que se realizarán en este túnel serán muy variados ya que se trata de un túnel multipropósito donde se abarcarán desde ensayos de aerodinámica civil a vehículos marinos. A continuación se presentan algunos de estos ensayos.

➤ Aerodinámica civil

Los ensayos realizados en esta materia se caracterizan porque los obstáculos son cuerpos romos y en general con aristas. El rasgo distintivo del flujo alrededor de estas estructuras es que en ellos la corriente suele estar desprendida en una porción extensa de las superficies del cuerpo.

- *Simulación de capa límite*

Antes de comenzar los ensayos de aerodinámica civil, es necesario conocer las características de la capa límite.

Desde el punto de vista de la aerodinámica civil se han sugerido diversas leyes de variación de la capa límite. En el modelo de variación potencial el perfil de velocidades en la capa límite terrestre se expresa como:

$$V(z) = V_G \left(\frac{z}{z_G} \right)^\zeta \quad (2.1)$$

donde V_G es la velocidad del viento geostrófico que se alcanza a una altura z_G y ζ es un coeficiente adimensional cuyo valor depende de la rugosidad del terreno.

Para generar la capa límite en nuestro túnel, se recurre a elementos rugosos a lo largo de la longitud del túnel y también agujas colocadas al inicio. La finalidad de estos elementos es la de facilitar el rápido crecimiento vertical de la capa límite. Estos ensayos tienen dos funciones principales, que son, ayudar a comprender los movimientos de aire en la atmósfera y resolver problemas de ingeniería como calcular las fuerzas y momentos que ejerce el viento sobre estructuras rígidas,



predecir como varía el viento en función de la forma de la estructura y permitir determinar la difusión de los gases contaminantes.

- ***Ensayos sobre estructuras***

Los ensayos que se practican en aerodinámica civil tienen numerosos objetivos entre los que se encuentran los que se muestran a continuación:

- El estudio de la interferencia entre edificios.
- Estudio de las cargas aerodinámicas producidas sobre cubiertas y revestimientos.
- Ensayos en puentes para examinar las posibles vibraciones inducidas por el viento o la seguridad de los vehículos que circulan por él.
- Estudio de entornos industriales en los que se producen efectos contaminantes, etc.

➤ **Automovilísticos**

Para fabricar coches con formas más aerodinámicas, sería necesario fabricar coches bajos y estabilizados pero poco confortables, y por lo tanto, nada atractivos para los clientes. Por ello las empresas constructoras de automóviles recurren a los ensayos en túneles aerodinámicos para centrar sus esfuerzos en optimizar ciertas zonas o elementos del coche esenciales para la aerodinámica como la baca, tapacubos, retrovisores o limpiaparabrisas. A continuación se presentan algunas de las aplicaciones en diferentes ámbitos automovilísticos:

- A pesar de que la aerodinámica es solo uno de los muchos aspectos en el desarrollo de un automóvil, es uno de los pocos necesarios para toda la vida del proyecto. Los cálculos mediante ordenadores y las pruebas en circuitos tienen un papel importante en la aerodinámica de los coches modernos, pero las medidas tomadas en los túneles aerodinámicos siguen siendo las más comunes. Esto es porque los resultados son muy fiables y productivos. Por lo que los ensayos automovilísticos pueden suponer una gran fuente de ingresos.



- Otra rama perteneciente a los automóviles, es el mundo de la alta competición. Aunque los desarrollos para determinar las formas aerodinámicas de los coches de carreras tienen muchas herramientas y procesos, como los FCD, siempre será necesario comprobar los resultados en un túnel aerodinámico, por lo que a pesar de los avances informáticos y en la alta computación (HPC) los ensayos en túnel son una fuente fundamental e imprescindible de información en esta materia. Este mundo es bastante amplio: Fórmula Uno, NASCAR, 24h de Le Mans, etc. En general, obtener buenos resultados en el túnel aerodinámico, supone tener buenos resultados en la pista, y por ello todos los automóviles de alta competición pasan por un túnel aerodinámico.
- Por otra parte, además de los coches de carreras y los particulares, hay otros tipos de vehículos que requieren también una atención especial y para los que los ensayos en túnel son muy importantes en su certificación, así que aquí tenemos otro tipo de ensayos posibles, camiones, motos, tráilers, trenes y otros vehículos.
 - Para el caso de los camiones se hacen ensayos para comprobar la resistencia que ofrece y así determinar la eficiencia de combustible y mejorarla en la medida de lo posible. Otro ensayo importante es el de comprobar que la aerodinámica escogida para el vehículo es segura, para ello se comprueba la respuesta del vehículo ante viento cruzado, etc. Debido a la dimensión que tienen, solo sería posible realizar ensayos de camiones a escala, para el caso del túnel que se está desarrollando.
 - Los ensayos con remolques están dirigidos a garantizar la seguridad vial, así como la eficiencia energética.
 - En cuanto a los trenes, su aerodinámica es fundamental para conseguir la máxima velocidad posible con la mínima energía.



- Las motos se ensayan por la misma razón que los automóviles, pero tienen algunos aspectos adicionales como la aerodinámica del conjunto piloto-moto.

➤ Vehículos marinos

La mayoría de los vehículos marinos operan en contacto tanto con el aire como con el agua. En los ensayos realizados en el túnel se podrá examinar la interacción del viento con los barcos, proporcionando valiosos datos. Las cargas generadas por el viento al golpear contra la superficie del barco, el confort para los pasajeros o las fuerzas aerodinámicas que produce el viento sobre un barco de vela son algunos de los ensayos frecuentes en esta materia.

➤ Deportes de alta competición

El deporte de alta competición como el ciclismo, esquí, salto de esquí, béisbol, lanzamiento de disco, jabalina, golf, etc., se centran cada vez más en detalles como la aerodinámica para mejorar sus tiempos, por lo que este podría ser otro posible uso del túnel aerodinámico. Para el caso concreto del ciclismo, tras numerosas pruebas en túneles aerodinámicos, se ha llegado a la conclusión de que el ciclista causa entre un 65% y un 80% de la resistencia total del aire. Además de que la posición adecuada del cuerpo puede reducir la resistencia del aire hasta en un 31% con respecto a una posición vertical. Toda esta reducción en la resistencia aerodinámica ha dado como consecuencia una disminución de los tiempos lo bastante considerable como para que los equipos inviertan dinero y tiempo en llevar a cabo ensayos en túneles aerodinámicos con el objetivo de mejorar su aerodinámica lo máximo posible.



➤ Aeronáuticos

Entre los muchos tipos de ensayos en materia aeronáutica, el túnel aerodinámico que estamos estudiando podrá realizar los siguientes tipos de ensayos:

- Ensayos del avión completo: donde se determinan los valores generales de las fuerzas aerodinámicas a las que se somete la estructura, fenómenos de resonancia de la estructuras, fuerzas de sustentación, resistencia y momentos, estudio de fenómenos aeroelásticos como reversión de mandos, flutter (flameo) o divergencia del ala, estudio de otros fenómenos como el buffeting, etc.
- Ensayos de componentes de aviones: hacer ensayos a gran escala de partes concretas de la aeronave ofrece muchas ventajas, puesto que se obtienen datos que pueden ser directamente aplicados a la aeronave. Los estudios de componentes más frecuentes son superficies de cola, góndolas, alerones, etc.
 - Algunos de los ensayos más destacados en esta área, son de alas tridimensionales. El ala es todavía un elemento crítico, porque aunque los ordenadores proporcionan una importante herramienta a la aerodinámica para poder calcular fuerzas aerodinámicas mediante el método *Vortex Lattice* u otros métodos más potentes como el de Euler o las aplicaciones de *Navier-Stokes*, estos no proporcionan resultados totalmente fiables, por lo que se necesitan numerosos ensayos en túnel aerodinámico para conseguir el ala óptima, que suele ser la de menor resistencia.
 - Otro componente importante son las alas bidimensionales, es decir, alas en las que no se tienen en cuenta el efecto tridimensional que induce una velocidad descendente que incrementa la resistencia y reduce la sustentación, son los perfiles aerodinámicos. Los datos obtenidos en estos ensayos son útiles para comparaciones aerodinámicas entre varios perfiles con dife-



- rentes formas, estas comparaciones incluyen $C_{l,máx}$, así como la forma de la curva de sustentación máxima, resistencia mínima, y la variación de C_d y $C_{m,ac}$ con respecto a C_l o α .
- Los alerones son otros elementos importantes puesto que son los encargados de llevar a cabo los virajes del avión a través del movimiento de alabeo. Estos ensayos requieren algunas consideraciones especiales por algunas razones como que puede haber problemas estructurales debido a la extensión de los cables y torsión en el ala.
 - El timón de dirección y el de profundidad encargados de los momentos de guiñada y cabeceo respectivamente, son otros de los componentes ensayados individualmente.
 - El fuselaje, rara vez es ensayado individualmente, puesto que los datos interesantes son los efectos producidos por la interferencia de las alas con el fuselaje. Sin embargo, los ensayos que se desarrollan en las góndolas son muy útiles. La mejor forma de ensayar el fuselaje o cuerpos de revolución es mediante un solo puntal y girando el modelo para simular los ángulos de ataque. Este procedimiento reduce las interferencias y hace más fácil su determinación.
 - Las hélices son otros componentes investigados en un túnel aerodinámico individualmente o junto con el fuselaje o la góndola. Si el diámetro de la hélice es pequeño en comparación con el chorro de aire del túnel, las correcciones serán pequeñas. Si el diámetro de la hélice es alrededor del 60% del diámetro del chorro, las correcciones no solo son grandes, sino que desafortunadamente los resultados no son tan precisos como los de las alas.
 - Otro tipo de ensayos son el de las puertas, tren de aterrizaje, en aviones de combate también se estudia el comportamiento

de las bombas cuando se produce el desacople y en condición de vuelo, etc.

2.5 Diseño de la cámara de ensayos

A lo largo del tiempo se han empleado múltiples formas para la cámara de ensayos, entre las que destacan, la redonda, elíptica, cuadrada, rectangular, hexagonal, octogonal, rectangular con las esquinas redondeadas, etc. El coste y la potencia se determinan directamente con el área de la sección transversal y la longitud, así como con la velocidad requerida. Las diferentes pérdidas de carga que se obtienen para las distintas configuraciones de secciones transversales son despreciables. Por lo tanto, la forma de la cámara de ensayos depende únicamente de la finalidad del túnel. Tener un suelo plano es muy práctico para realizar los cambios de modelo y para trabajar dentro. Además, los costes son menores, y estas son las razones principales por las cuales la mayoría de las cámaras de ensayos tienen secciones rectangulares. En la *FIGURA 2.3* se muestra un A-380 en una cámara de ensayos rectangular.



FIGURA 2.3. A-380 en una cámara de ensayos rectangular.



Las paredes, el techo, y el suelo deben permitir la instalación de ventanas para ver y fotografiar el modelo cuando se emplea un flujo visual como la utilización de humo.

La longitud de la cámara de ensayos en la práctica varía entre una y dos veces la longitud del elemento a ensayar. A medida que el aire avanza por la cámara de ensayos el espesor de la capa límite aumenta. Esto, reduce el área efectiva del chorro causando un aumento de la velocidad del flujo fuera de la capa límite de las paredes. Si el área es constante, la velocidad aumenta produciendo a la vez una caída en la presión estática y un incremento de la resistencia del modelo. No existe ningún método que asegure el desarrollo de una presión estática constante, pero para reducir este efecto es conveniente dotar a la cámara de ensayos de una sección ligeramente variable, en la que el área de entrada sea menor que la de la salida con el fin de mantener el área efectiva y con ello la presión estática y la velocidad. Pueden ser necesarios algunos ajustes después de construir el túnel como consecuencia de la presión estática. Algunos túneles cuyas cámaras de ensayos están suavizadas en las esquinas han alterado la suavización hasta conseguir una presión estática constante.

Para minimizar los problemas del flujo secundario en las esquinas de las contracciones rectangulares, es común instalar suavizaciones o biseles de 45° a la entrada de la contracción formándose una sección octogonal. Estos biseles son, en muchos túneles, prolongados a la cámara de ensayos para prevenir que la capa límite crezca en las esquinas de la cámara y en el inicio del difusor y disminuya a la salida del mismo.

La longitud de la cámara de ensayos que se espera usar para probar modelos que tengan grandes volúmenes debe ser lo suficientemente grande como para que todas las zonas del flujo separadas por el modelo se cierren antes del comienzo del difusor.



Otro elemento fundamental será la colocación de ventanas ya que durante los ensayos será necesario ver todas las partes del modelo. Por razones de seguridad, las ventanas en la cámara de ensayos deberían de ser de un material resistente. Desde hace años el material elegido son placas de vidrio. Ahora hay plásticos que pueden ser empleados en lugar de las placas de vidrio. Si los elementos a ensayar son hélices o rotores, deberíamos consultar a los fabricantes de materiales de ventanas para que determinaran la energía de absorción y los factores de seguridad que deberíamos aplicar. Otro factor es la luminosidad, y es que para obtener las fotografías adecuadas se necesita una luz capaz de iluminar la cámara de ensayos correctamente.

Una vez consideradas todas las opciones posibles, se ha optado por una solución de diseño poco empleada, pero que nos va a permitir acoger una mayor variedad de ensayos. La cámara de ensayos será convertible y estará compuesta por una estructura móvil, montada en unos raíles para poder transformar nuestra cámara de ensayos cerrada, en una cámara abierta. Las características geométricas de dicha cámara se presentan en la *TABLA 2.1*.

TABLA 2.1. Características geométricas de la cámara de ensayos.

Características	Cámara cerrada	Cámara abierta
b (m)	4	4
h (m)	2.5	2.5
A (m ²)	10	10
L (m)	14	4

Otro aspecto importante es la accesibilidad al interior. Cuando la configuración de la cámara sea abierta, no habrá ningún problema de accesibilidad, puesto que se podrá acceder al modelo perfectamente. Sin embargo, cuando la configuración sea cerrada, será necesario la instalación de una o varias puertas. Puesto que la longitud de la cámara de ensayos es bastante grande, se instalará una única



puerta cuyas dimensiones serán de 3 metros de ancho x 2.18 de altura y estará situada a 6.5 metros de la entrada.

Otro elemento importante y extremadamente útil es la plataforma sobre la cual se instalarán los modelos. Se instalarán dos plataformas de características similares, tendrán un grado de libertad, que será el giro para poder aumentar el número de ensayos para un mismo modelo desde diferentes ángulos y sin necesidad de desmontar y montar el modelo. Por ejemplo, si el modelo a ensayar es un avión y queremos saber las fuerzas que experimenta con la presencia de viento cruzado, lo único que deberemos de hacer será rotar la plataforma.

En cuanto a las ventanas, se colocarán dos, la primera de ellas en la sección móvil y sus dimensiones serán de 3 metros de ancho y 2 de alto, y la segunda estará situada al final de la cámara de ensayos y tendrá unas dimensiones de 3.5 metros de ancho x 2 metros de altura. En cuanto a la iluminación, se realizará mediante unos fluorescentes situados a ambos lados del techo y espaciados de forma correcta. La luz accederá al interior de la cámara de ensayos gracias a que toda la parte superior de esta será de cristal o de otro tipo de material transparente adecuado. Estos cristales estarán fabricados de materiales resistentes a las altas temperaturas y a los impactos. Los detalles sobre la iluminación se estudiarán en el capítulo 4.

A continuación se muestran dos *FIGURAS 2.4* y *2.5* donde se ilustran las dos posibles configuraciones de cámara de ensayos en 3D.

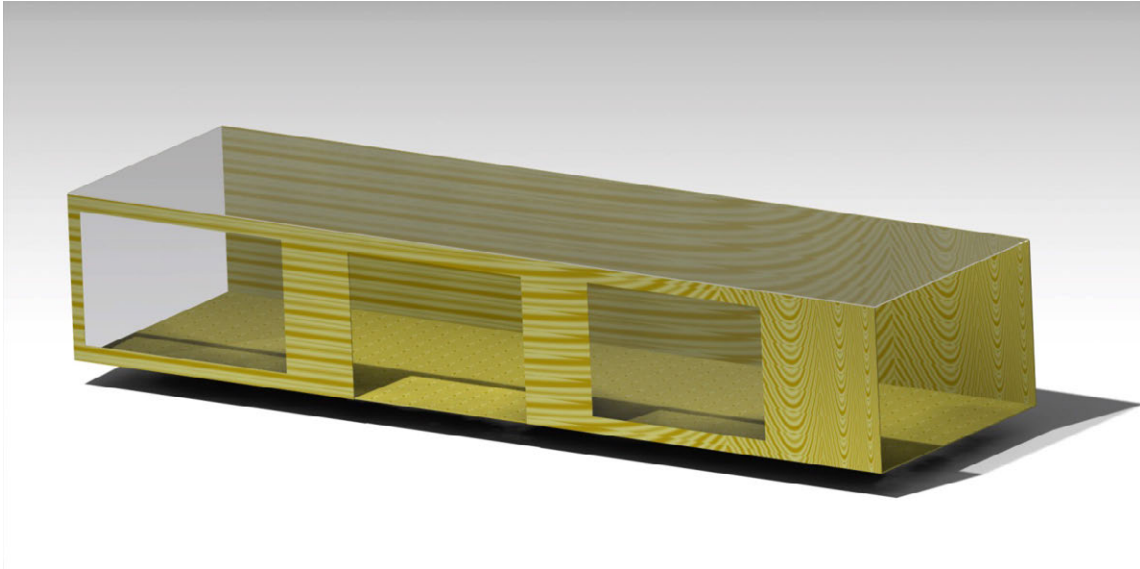


FIGURA 2.4. Cámara de ensayos cerrada en 3D (diseño realizado con CATIA V5).

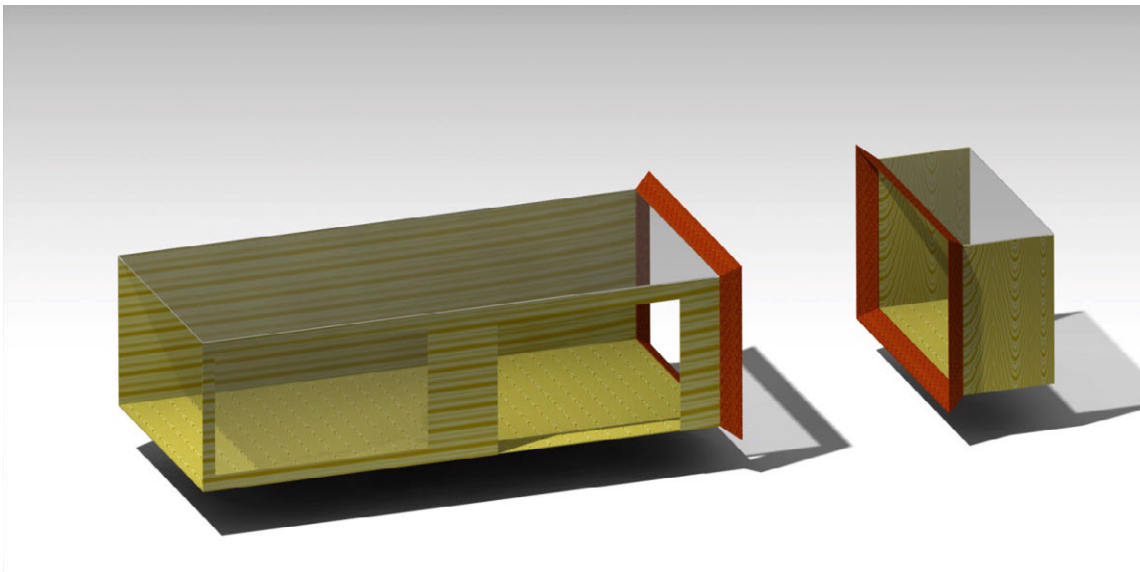


FIGURA 2.5. Cámara de ensayos abierta en 3D (diseño realizado con CATIA V5).

2.6 Diseño del difusor

El difusor en un túnel de circuito cerrado como en nuestro caso se extiende desde el final de la cámara de ensayos hasta antes de llegar a la esquina y luego tiene otro segundo difusor de mayores dimensiones en el circuito de retorno. El primer difusor, al que se le denominará a partir de ahora difusor 1, se extiende



hasta la primera esquina ya que las pérdidas de carga aumentan con el cuadrado de la velocidad, y el propósito del difusor es el de reducir la velocidad para que las pérdidas de carga sean lo menores posible. Las menores pérdidas de energía corresponden a la recuperación de la presión máxima ya que si aumentamos la presión, reducimos la velocidad y las pérdidas son menores. De esta forma el principio de funcionamiento del difusor está basado en las ecuaciones de Bernouilli y de la continuidad (ecuaciones (2.2) y (2.3)).

$$P_{0e} = P_e + \frac{1}{2}\rho V_e^2 = P_s + \frac{1}{2}\rho V_s^2 = P_{0s} \quad (2.2)$$

$$Q = A_e V_e = A_s V_s \quad (2.3)$$

siendo, P_o la presión de remanso, P la presión estática, ρ la densidad (supuesta constante), V la velocidad, A el área y “e”, “s” indican las secciones de entrada y salida, respectivamente.

Normalmente para los difusores se emplean secciones transversales rectangulares o casi rectangulares y las razones son muy parecidas a las de la cámara de ensayos. Son elementos muy comunes en dispositivos por donde circulan fluidos, y en muchas aplicaciones pueden ser bastante largos. Para unas condiciones del flujo constantes a la entrada del difusor y para una longitud del difusor dada (L_d), o bien una relación de áreas dada ($n_d = A_s/A_e$), un aumento en el ángulo de divergencia α , empezando desde $\alpha=0^\circ$, si vamos aumentando progresivamente este ángulo de divergencia dará como resultado cuatro regímenes de flujo principales:

- Régimen estable: donde el flujo no se desprende.
- Régimen de desprendimiento parcial del flujo: donde el tamaño y la intensidad de la separación aumenta con el tiempo, se trata de un régimen fuertemente oscilante y en el que aparecen separaciones del flujo en determinadas zonas.
- Régimen de flujo completamente separado: donde una parte importante del difusor está ocupada por una gran zona de recirculación, se trata de un difusor con flujo sustancialmente desprendido.



- Régimen de chorro: donde el flujo principal se desprende desde las paredes del difusor a la totalidad del perímetro, y el flujo del difusor está completamente desprendido.

Estos fenómenos de pérdida, serán los que deberemos evitar a toda costa. Hay varios métodos para evitar estos fenómenos que son la succión de la capa límite, el soplado, vanos, etc.

- Succión de la capa límite: la cantidad de flujo que se había desprendido de la pared vuelve a unirse a ella dando como resultado que la zona de separación se desplaza aguas abajo, el flujo se suaviza y las pérdidas disminuyen.
- Soplado de la capa límite: aumenta la velocidad del flujo en las paredes. Y al igual que en el caso anterior la zona de desprendimiento se desplaza aguas abajo.
- Vanos: estos deflecan una porción de flujo con velocidades altas desde la zona central del difusor hasta las paredes, el resultado es que la zona de separación disminuye o desaparece. Estos deflectores son muy útiles para grandes ángulos de divergencia.
- Separadores: son otro tipo de sistemas empleados para evitar la separación de la corriente, además provoca una reducción de las pérdidas y una mayor uniformidad en la distribución de velocidades. Los separadores son instalados sobre toda la longitud del difusor.

Los parámetros básicos que definen un difusor son la relación de áreas entre la entrada y la salida (A_s/A_e) y el ángulo de divergencia o de expansión cónica (α). En la FIGURA 2.6 se muestra la geometría de un difusor rectangular similar al empleado en el proyecto.

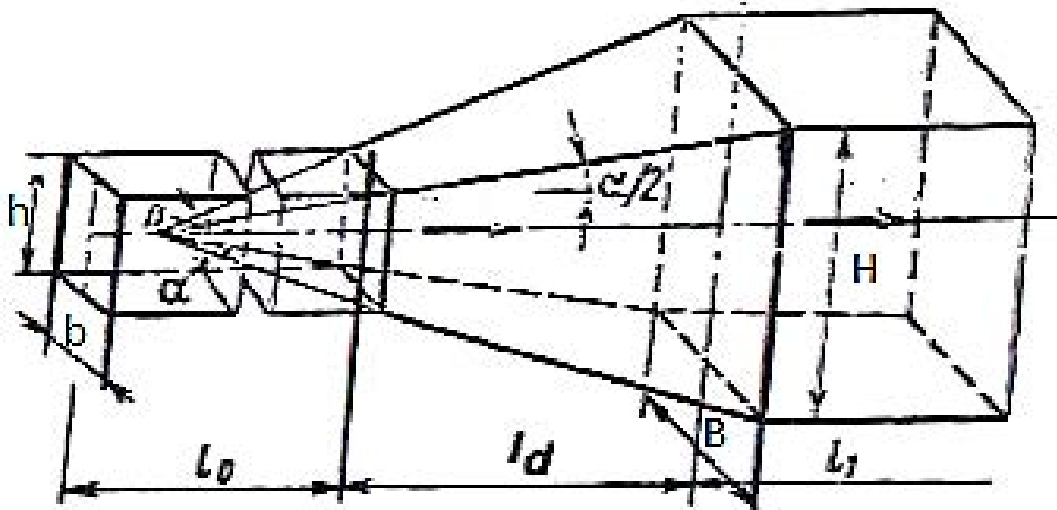


FIGURA 2.6. Geometría de un difusor rectangular.

En la actualidad se emplean ángulos de expansión cónica de 6° ($\alpha/2=3^\circ$) o menos, y en cuanto a la relación de áreas empleada, suele ser de 3, es decir, $(A_s/A_e) = 3$. El espesor de la capa límite en la entrada del difusor aumentará al igual que los dos factores anteriores el riesgo de desprendimiento.

El camino de retorno necesitará tener acceso a través de una puerta, que deberá estar situada cerca del ventilador. La puerta debería de estar sellada para evitar filtraciones y además deberá tener el tamaño adecuado para poder instalar e inspeccionar el ventilador y la transmisión si está situada en el interior de la góndola del ventilador. Otro de los factores útiles para el mantenimiento e instalación de los ventilador será la colocación de luces cerca de los mismos.

Las características de los difusores se muestran en la siguiente tabla (TABLA 2.2):

TABLA 2.2. Características geométricas de los difusores.

Características	Difusor 1	Difusor 2
$b \text{ (m)}$	4	4.8
$h \text{ (m)}$	2.5	3.3
$A_e \text{ (m}^2\text{)}$	10	15.84
$B \text{ (m)}$	4.8	7.2
$H \text{ (m)}$	3.3	5.7
$A_s \text{ (m}^2\text{)}$	15.84	41.04
$\alpha \text{ (}^\circ\text{)}$	5	5
$\beta \text{ (}^\circ\text{)}$	5	5
$L \text{ (m)}$	9.16	27.4
n_d	1.58	2.59

En la FIGURA 2.7 y 2.8 se muestra una imagen del difusor 1 y 2, respectivamente, en 3D.

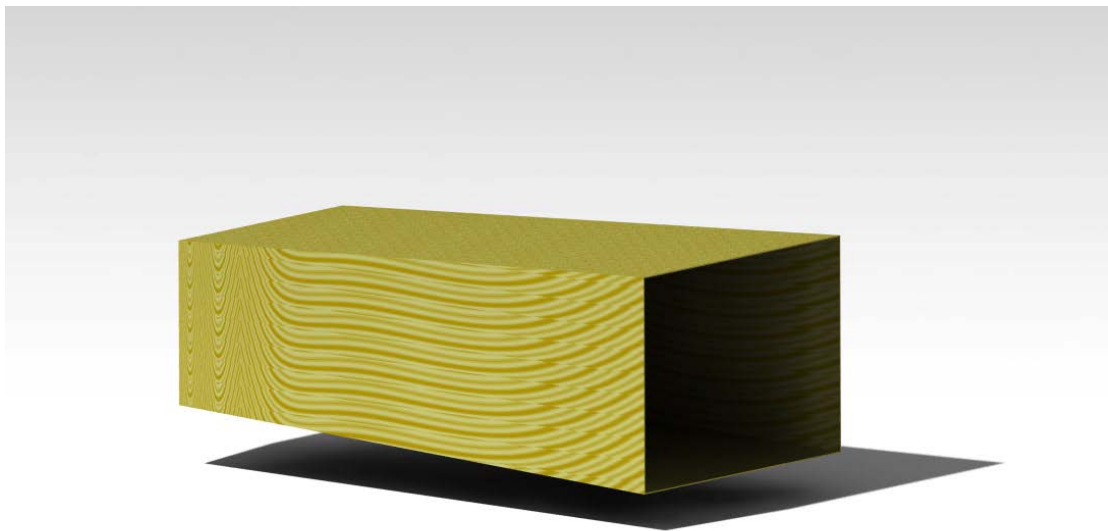


FIGURA 2.7. Difusor 1 en 3D (diseño realizado con CATIA V5).

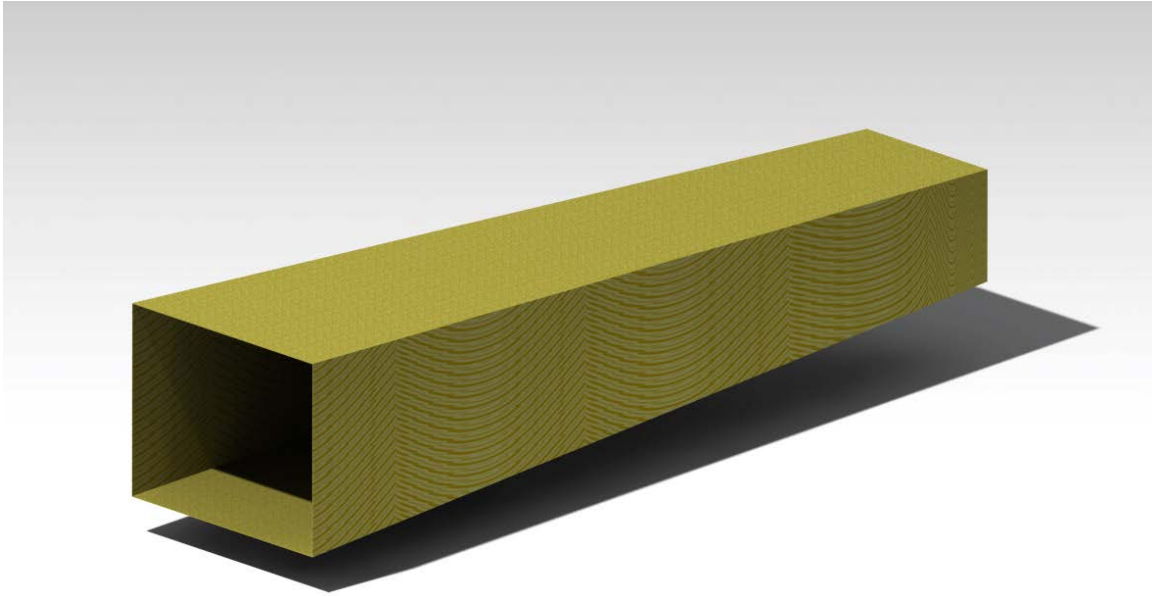


FIGURA 2.8. *Difusor 2 en 3D (diseño realizado con CATIA V5).*

2.7 Diseño de la contracción

La contracción se sitúa entre la cámara de tranquilización y la cámara de ensayos, y su propósito es generar un aumento de la velocidad del flujo por un factor máximo de 20 o más, aunque los valores típicos son de 6 a 10. Realizar un análisis de la contracción en una sola dimensión del flujo no refleja realmente cuales son los problemas principales del diseño de la tobera. Si aplicamos las ecuaciones de Bernoulli y de la conservación de la masa en una única dirección el resultado es una disminución continua de presión a medida que el flujo se desplaza desde la entrada a la salida. Si el coeficiente de presión considerando que el flujo se desplaza unidimensionalmente está definido como

$$(C_p)_{c.e.} = 1 - \left(\frac{A_{c.e.}}{A(x)} \right)^2 \quad (2.4)$$

siendo el subíndice “c.e.” la cámara de ensayos. En este caso, el coeficiente de presión está cercano a 1 en la cámara de sedimentación y cercano a 0 en la cámara de ensayos. De manera que si analizamos la tobera unidimensionalmente, no apare-



cen los problemas generados por la inestabilidad de la capa límite ya que los gradientes de presión parecen ser favorables a través de la tobera.

Sin embargo, el cálculo del flujo potencial nos muestra que el flujo a lo largo de la pared es más lento (y la presión mayor) que en el flujo unidimensional. Si además, consideramos que la tobera no es axil simétrica, los problemas son aún mayores. Para el caso de secciones transversales rectangulares, se interseca la superficie de las líneas de corriente con la pared lateral. Esto trae como consecuencia que el flujo secundario en las esquinas disminuya su velocidad y pueda producirse el desprendimiento. Una forma de solucionar este problema es haciendo la tobera octogonal. A continuación se muestran diferentes formas de realizar una contracción:

- **Contracciones en dos dimensiones**

Hay muchos métodos para calcular este tipo de contracciones como Whitehead²⁰, Wu y Waters, Gibbings²¹ y Dixon y Jordinson²², etc. Más adelante se profundizará en el estudio de estas mediante el método de Nanjunda Swami⁴⁴.

- **Contracciones axil simétricas**

Entre los diferentes métodos para realizar este tipo de contracciones destaca Jordinson y Rodger²³ que han ampliado con éxito el método de Jordinson para dos dimensiones a contracciones axil simétricas. No obstante este método no conduce a soluciones óptimas.

Otro tipo de diseño para este tipo de contracciones es el propuesto por Morel²⁴ que analizó el flujo para diferentes secciones transversales y cuyos límites estaban formados por dos curvas cúbicas coincidentes. Aplicando el criterio de separación de Stratford a su contracción, fue capaz de diseñar las condiciones que incorporaban la velocidad máxima y la no uniformidad de esta en el plano de salida.



- **Contracciones de secciones rectangulares**

Los problemas que se producen en este tipo de contracciones, son mucho mayores que en los casos anteriores. Y será la contracción escogida para nuestro túnel porque es la mejor forma de contraer el fluido en un espacio reducido. Para diseñar dicha contracción se recurrirá al método de Nanjunda Swami⁴⁴, el cual está basado en la realización de contracciones en dos dimensiones, pero que se aplicará en dos ocasiones para determinar la contracción del túnel aerodinámico que se está desarrollando. A continuación se presenta dicho método.

2.7.1 Método de Nanjunda Swamy

Puesto que el método considera al flujo como un modelo potencial, se suponen las siguientes hipótesis:

1. Como el movimiento es plano, se cumple que

$$\frac{\partial}{\partial z} = 0$$

donde z representa la variable dependiente en un espacio bidimensional definido por tres ejes coordenados x , y , z .

2. Movimiento irrotacional:

$$\nabla \wedge \vec{V} = 0$$

3. Fluido incompresible:

$$\rho = \text{constante}$$

4. Movimiento estacionario:

$$\frac{\partial}{\partial t} = 0$$



Teniendo en cuenta estas consideraciones, las ecuaciones del movimiento del fluido pueden expresarse de la siguiente forma,

– Continuidad:

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0 \quad (2.5)$$

– Impulso:

$$V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \quad (2.6)$$

$$V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} \quad (2.7)$$

Que representa la energía, que en este caso se reduce al impulso.

Antes de aplicar el método a nuestro caso hay que destacar dos conceptos clave que son la función de corriente y el potencial de velocidades.

- **Función de corriente**

La ecuación de las líneas de corriente en un movimiento bidimensional quedarán planteadas a partir de su condición de tangencia con la velocidad. De manera que la ecuación será:

$$\frac{dy}{V_y} = \frac{dx}{V_x} \quad \text{o bien} \quad V_y dx - V_x dy = 0 \quad (2.8)$$

Si a continuación definimos una función potencial ψ tal que:

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = -V_y \quad ; \quad \frac{\partial \psi}{\partial y} = V_x \quad (2.9)$$

podemos escribir :

$$d\psi = \frac{\partial \psi}{\partial x} dx + \frac{\partial \psi}{\partial y} dy = 0 \quad (2.10)$$



La ecuación de las líneas de corriente queda pues definida por la expresión:

$$d\psi = 0 \quad \text{o bien} \quad \psi = \text{constante}$$

siendo:

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = -V_y \quad ; \quad \frac{\partial \psi}{\partial y} = V_x \quad (2.11)$$

Para determinar la función ψ se utilizan las condiciones impuestas por los límites.

Si a esta función la aplicamos la condición de irrotacional, se obtiene

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \rightarrow \nabla^2 \psi = 0 \quad (2.12)$$

- **Potencial de velocidades**

El potencial de campo lo obtenemos de la condición de irrotacional. En el movimiento bidimensional definido en el plano xy , sólo puede existir la componente k del rotor de la velocidad, cuya expresión es

$$\frac{\partial V_y}{\partial x} = \frac{\partial V_x}{\partial y} \quad (2.13)$$

Como además las líneas equipotenciales deben ser ortogonales a las líneas de corriente, podemos satisfacer estas condiciones introduciendo una función potencial φ de manera que

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = V_x \quad ; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y} = V_y \quad (2.14)$$

Al igual que la función anterior, se trata de una función potencial que al aplicarla la ecuación de continuidad, se obtiene

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \rightarrow \nabla^2 \varphi = 0 \quad (2.15)$$



Una vez definidos los conceptos, pasaremos a definir algunas condiciones, como que la salida de la contracción se corresponderá con $x=0$ y la entrada con $x=\pi$, siendo x e y las coordenadas que se han tomado paralelas al plano del suelo y estando la coordenada x contenida en el plano de simetría de la contracción.

Como ya hemos visto, el campo de velocidades es

$$\vec{V} = (V_x, V_y) = \nabla\varphi = \left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}, \frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)$$

Siendo V_x y V_y las componentes según x e y del campo de velocidades.

Puesto que la contracción se realizará en dos planos XY y XZ , deberemos aplicar el método en dos ocasiones. El plano XY se ha considerado paralelo al suelo, donde la coordenada X está contenida en el plano horizontal de simetría y su dirección la marcará el aumento de la sección transversal, por otra parte la coordenada Y será perpendicular a la anterior y la coordenada Z será ortogonal a las otras dos y estará contenida en el plano de simetría vertical.

Estas coordenadas se adimensionalizarán haciendo uso de la longitud de contracción (l_c), de la mitad del lado base de la sección de entrada ($l_{B/2}$) y de la mitad de la altura de la sección de entrada ($l_{H/2}$).

$$x = \frac{X}{l_c} \pi \tag{2.16}$$

$$y = \frac{Y}{l_{B/2}} \tag{2.17}$$

$$z = \frac{Z}{l_{H/2}} \tag{2.18}$$



➤ CONTRACCIÓN XY

Posteriormente, considerando que el flujo se desarrolla entre dos planos equipotenciales situados en $x=0$ y $x=\pi$, perpendiculares a OX con una diferencia de potencial de $a_0\pi$ entre ellos. Entonces, debido a la simetría del flujo respecto al eje y , sólo es necesario considerar la parte del plano que corresponde a $y \geq 0$. Para este caso, la solución sería

$$\varphi(x, y) = a_0x + \sum_{n=1}^N \frac{a_n}{n} \sin(nx) \cosh(ny) \quad (2.19)$$

Siendo las componentes de la velocidad

$$V_x(x, y) = a_0 + \sum_{n=1}^N a_n \cos(nx) \cosh(ny) \quad (2.20)$$

$$V_y(x, y) = \sum_{n=1}^N a_n \sin(nx) \sinh(ny) \quad (2.21)$$

Y las líneas de corriente vienen determinadas por la expresión 2.22 o 2.23.

$$\psi(x, y) = \int_0^y V_x dy \quad (2.22)$$

$$\psi(x, y) = a_0y + \sum_{n=1}^N \frac{a_n}{n} \cos(nx) \sinh(ny) \quad (2.23)$$

donde “ n ” es un número entero positivo, “ a_n ” son los coeficientes escogidos para obtener una distribución de velocidad monótona en la superficie de la contracción y “ N ” puede tomar cualquier valor entero positivo. Por otra parte de la ecuación (2.20) obtenemos la expresión (2.24).

$$\left(\frac{\partial V_x}{\partial x} \right)_{y \rightarrow M} = - \sum_{n=1}^N n a_n \sin(nx) \cosh(nM) \quad (2.24)$$



Donde M es un número dado. Si los coeficientes a_n se eligen de manera que

$$\left(\frac{\partial V_x}{\partial x}\right)_{y \rightarrow M} = -A(1 + \cos(x))^{N-1} \sin(x), \quad \text{con } A > 0 \quad (2.25)$$

Con estas dos condiciones conseguimos una velocidad que sea monótona creciente. Entonces, se puede mostrar para un N dado, que la primera derivada no nula de V_x , con respecto a x para $x=\pi$, $y=M$ es de orden impar y positiva si $a_1 > 0$. Por lo tanto V_x alcanza un valor mínimo en $x=\pi$, $y=M$. Para $x=0$, el primer valor no nulo de la derivada de V_x con respecto a x en $y=M$ es de orden impar y negativo. Por lo tanto, V_x tiene un máximo en $x=0$, $y=M$. Por otra parte, la función módulo de la velocidad V es una función monótona decreciente a lo largo de la contracción

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

Por último definiendo la relación de contracción como $n_{xy} = \frac{l_{B/2}}{l_{b/2}} = \frac{3.6}{2} = 1.8$.

La línea de corriente más externa que daría la función de corriente nos proporcionará la superficie de la contracción, y responde a $y = Y(x)$. Siendo los valores para la entrada y salida (π, M) y $(0, M/n_{xy})$ respectivamente. Tomando $M=1$ obtenemos los puntos $(\pi, 1)$ y $(0, 1/1.8)$.

Tomamos $a_n=0$ para $n \geq 4$ así que $N=3$. Se consideran los tres primeros términos ya que se trata de una serie convergente al igual que las series de Fourier y los términos sucesivos tienen un valor despreciable en comparación con los tres primeros. Con estos datos empleamos las ecuaciones anteriores (2.24) y (2.25) y las igualamos, puesto que es la misma línea de corriente, uniendo esto junto con algunas relaciones trigonométricas, obtenemos un sistema de tres ecuaciones con cuatro incógnitas

$$\begin{aligned} [a_1 \sin(\pi) \cosh(1) + 2a_2 \sin(2\pi) \cosh(2) + 3a_3 \sin(3\pi) \cosh(3)] \\ = A(1 + \cos(\pi))^2 \sin(\pi) \end{aligned}$$



$$\sin(2\pi) = 2\sin(\pi)\cos(\pi)$$

$$\sin(3\pi) = \sin(\pi) [4 \cos^2(\pi) - 1]$$

$$\begin{pmatrix} \cosh(1) & 0 & -3\cosh(3)-1 \\ 0 & 4\cosh(2) & 0 \\ 0 & 0 & 12\cosh(3)-1 \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Tomamos $a_1=1$ ya que el resto de coeficientes se calcularán en función de este, y el resultado es:

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.16406 \\ 0.01022 \\ 1.23446 \end{bmatrix}$$

Para determinar el valor de la última incógnita a_0 se iguala la función de corriente en las coordenadas de entrada y salida puesto que pertenecen a la misma línea de corriente.

$$\begin{aligned} \psi_{(0,1/1.8)} &= \frac{1}{1.8} a_0 + a_1 \sinh\left(\frac{1}{1.8}\right) + \frac{a_2}{2} \sinh\left(\frac{2}{1.8}\right) + \frac{a_3}{3} \sinh\left(\frac{3}{1.8}\right) \\ &= a_0 - a_1 \sinh(1) + \frac{a_2}{2} \sinh(2) - \frac{a_3}{3} \sinh(3) = \psi_{(\pi,1)} \end{aligned}$$

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente, la solución de la ecuación es:

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ \psi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.63641 \\ 2.72459 \end{pmatrix}$$

Por último nos queda que la ecuación para la contracción sería

$$\psi = a_0 y + \sum_{n=1}^3 \frac{a_n}{n} \cos(nx) \sinh(ny)$$

$$\begin{aligned} 2.73764 &= 3.64946y + \cos(x) \sinh(y) + \frac{0.16406}{2} \cos(2x) \sinh(2y) \\ &+ \frac{0.01022}{3} \cos(3x) \sinh(3y) \end{aligned} \quad (2.26)$$

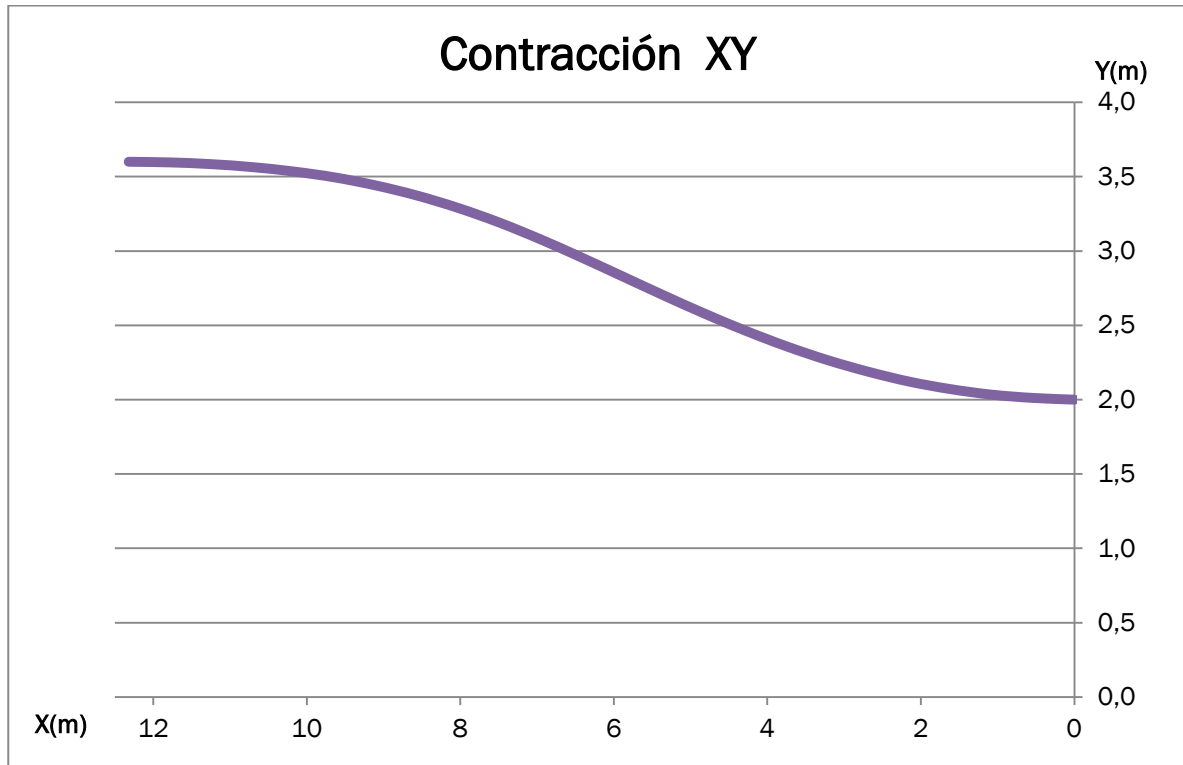


Resolviendo la ecuación a través de la herramienta “Análisis Y si” del programa “Excel”, tenemos como resultado la *TABLA 2.3.* y el *GRÁFICO 2.1.*, donde se representan 24 puntos de la línea de corriente $\psi = 2.73764$.

TABLA 2.3. Valores obtenidos de la expresión (2.25) y sus valores dimensionales tras aplicar las ecuaciones (2.15) y (2.16).

Puntos	ψ	x	y	$X(m)$	$Y(m)$
1	2.73764	0.00	0.56	0.00	2.00
2	2.73764	0.14	0.56	0.54	2.01
3	2.73764	0.27	0.56	1.07	2.03
4	2.73835	0.41	0.58	1.61	2.07
5	2.73704	0.55	0.59	2.14	2.12
6	2.73850	0.68	0.61	2.68	2.19
7	2.73764	0.82	0.63	3.21	2.27
8	2.73764	0.96	0.66	3.75	2.36
9	2.73764	1.09	0.68	4.29	2.46
10	2.73763	1.23	0.72	4.82	2.58
11	2.73774	1.37	0.75	5.36	2.70
12	2.73764	1.50	0.79	5.89	2.83
13	2.73761	1.64	0.82	6.43	2.96
14	2.73763	1.78	0.86	6.96	3.08
15	2.73760	1.91	0.89	7.50	3.19
16	2.73683	2.05	0.91	8.03	3.29
17	2.73677	2.19	0.94	8.57	3.37
18	2.73681	2.32	0.96	9.11	3.44
19	2.73759	2.46	0.97	9.64	3.50
20	2.73704	2.60	0.98	10.18	3.53
21	2.73714	2.73	0.99	10.71	3.56
22	2.73722	2.87	1.00	11.25	3.58
23	2.73726	3.00	1.00	11.78	3.60
24	2.73764	3.14	1.00	12.32	3.60

GRÁFICO 2.1. Geometría de la contracción XY según valores dimensionales.



➤ CONTRACCIÓN XZ

El procedimiento y las ecuaciones son las mismas, el único cambio se encuentra en la relación de contracción $n_{xz} = \frac{l_{H/2}}{l_{h/2}} = \frac{2.85}{1.25} = 2.28$ y que en las ecuaciones aparece z en lugar de y.

De manera que los términos a_1, a_2, a_3 y A son los mismos. La diferencia se produce en la línea de corriente externa que nos definirá el contorno de la contracción en el plano XZ.

$$\begin{aligned}\psi_{(0,1/2.28)} &= \frac{1}{2.28} a_0 + a_1 \sinh\left(\frac{1}{2.28}\right) + \frac{a_2}{2} \sinh\left(\frac{2}{2.28}\right) + \frac{a_3}{3} \sinh\left(\frac{3}{2.28}\right) \\ &= a_0 - a_1 \sinh(1) + \frac{a_2}{2} \sinh(2) - \frac{a_3}{3} \sinh(3) = \psi_{(\pi,1)}\end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ \psi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.58646 \\ 1.67465 \end{pmatrix}$$



Finalmente la ecuación de la contracción en este plano sería:

$$1.67465 = 2.58646z + \cos(x) \sinh(z) + \frac{0.16406}{2} \cos(2x) \sinh(2z) + \frac{0.01022}{3} \cos(3x) \sinh(3z) \quad (2.27)$$

Y resolviendo el sistema de la misma forma que para el caso anterior, el resultado sería el que se presenta en la *TABLA 2.4* y en el *GRÁFICO 2.2*.

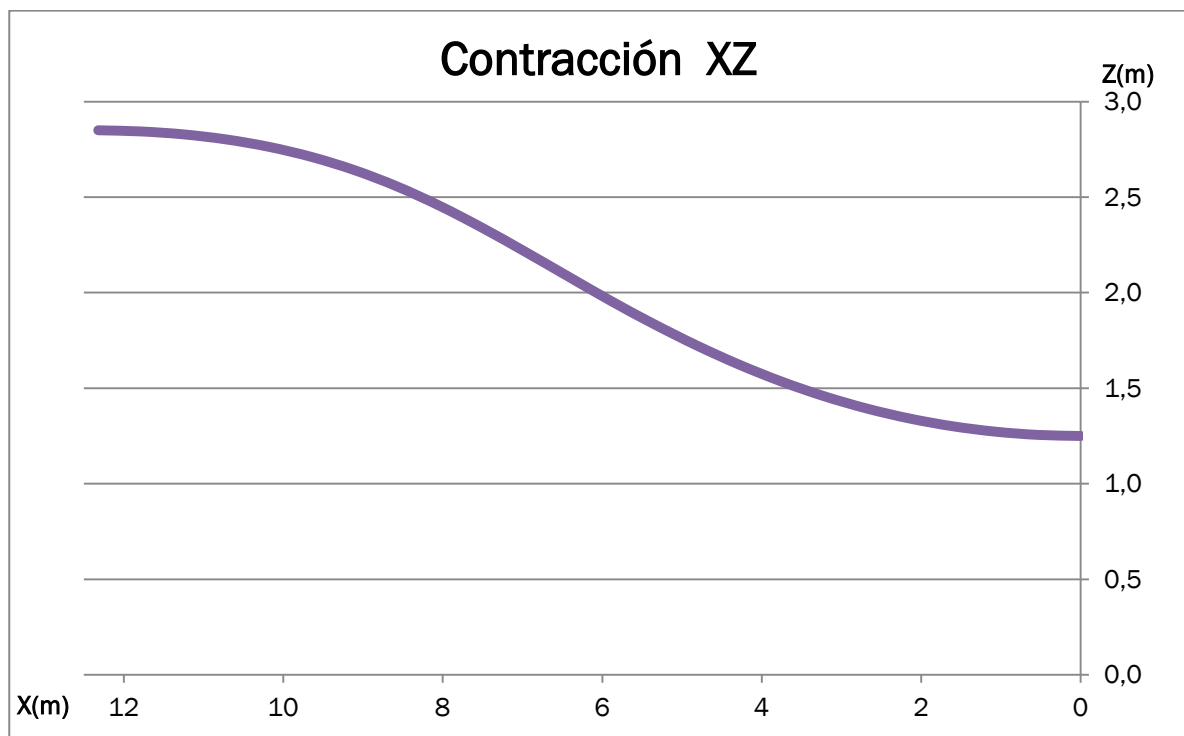
TABLA 2.4. Valores obtenidos de la expresión (2.26) y sus valores dimensionales tras aplicar las ecuaciones (2.15) y (2.17).

Puntos	ψ	x	z	$X(m)$	$Z(m)$
1	1.67451	0.00	0.44	0.00	1.25
2	1.67451	0.14	0.44	0.54	1.26
3	1.67451	0.27	0.45	1.07	1.27
4	1.67452	0.41	0.46	1.61	1.30
5	1.67453	0.55	0.47	2.14	1.34
6	1.67456	0.68	0.49	2.68	1.39
7	1.67460	0.82	0.51	3.21	1.46
8	1.67464	0.96	0.54	3.75	1.53
9	1.67465	1.09	0.57	4.29	1.62
10	1.67457	1.23	0.61	4.82	1.72
11	1.67432	1.37	0.64	5.36	1.84
12	1.67379	1.50	0.69	5.89	1.96
13	1.67464	1.64	0.73	6.43	2.08
14	1.67456	1.78	0.78	6.96	2.21
15	1.67435	1.91	0.82	7.50	2.34
16	1.67408	2.05	0.86	8.03	2.45
17	1.67384	2.19	0.90	8.57	2.56
18	1.67372	2.32	0.93	9.11	2.64
19	1.67372	2.46	0.95	9.64	2.71
20	1.67380	2.60	0.97	10.18	2.76



21	1.67390	2.73	0.98	10.71	2.80
22	1.67399	2.87	0.99	11.25	2.83
23	1.67404	3.00	1.00	11.78	2.84
24	1.67464	3.14	1.00	12.32	2.85

GRÁFICO 2.2. Geometría de la contracción XZ según valores dimensionales.



Por último unimos ambas contracciones haciendo uso del programa CATIA V5 y el resultado es el que se muestra en la *FIGURA 2.9*.

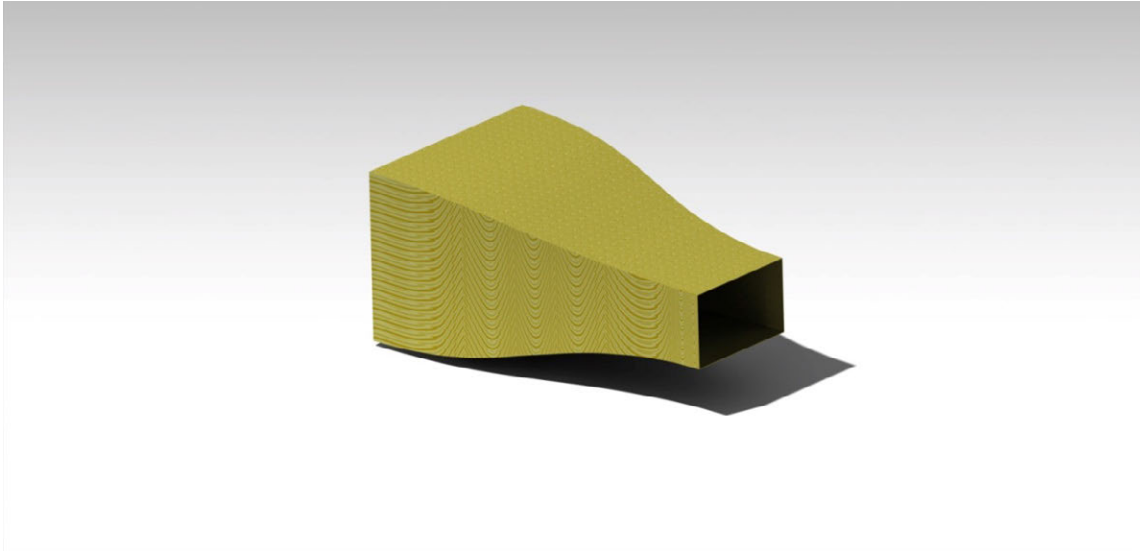


FIGURA 2.9. Contracción en 3D (diseño realizado con CATIA V5).

2.8 Diseño de los codos

Los codos son unos elementos presentes en aquellos túneles de circuito cerrado y cuya función es la de deflectar o girar la corriente. En la *FIGURA 2.10* se muestra el perfil de velocidades y presiones en un codo.

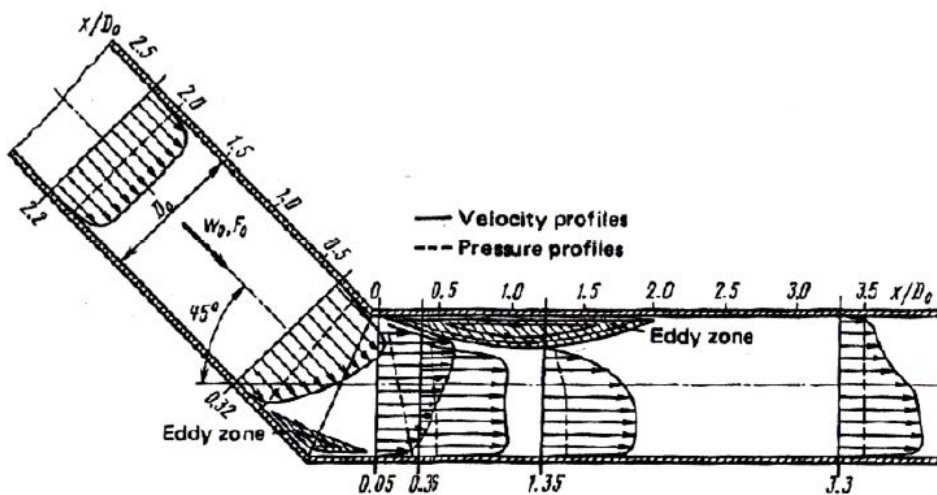


FIGURA 2.10. Perfil de velocidades y presiones en un codo.

Para evitar grandes pérdidas y mantener un flujo relativamente recto en todo el circuito, las esquinas están equipadas con unos deflectores. Las esquinas son normalmente de área constante, pero no siempre. La forma de los deflectores varía desde placas dobladas, a perfiles aerodinámicos de gran curvatura. Conviene adoptar disposiciones para ajustar los deflectores ya sea haciéndolos pivotar o mediante unas lengüetas situadas en el borde de salida similares a los flaps para el caso de los aviones. En el caso de que se utilicen lengüetas debería emplearse un sistema de bloqueo para prevenir su movimiento tras el paso del flujo provocando una distorsión del mismo. Las dos primeras esquinas son las más críticas en términos de pérdidas (como consecuencia de una mayor presión dinámica) y por la necesidad de que la velocidad sea uniforme a la entrada del ventilador.

Las pérdidas en las esquinas pueden ser pequeñas si seleccionamos una forma de la sección transversal eficiente y si dejamos una distancia entre deflectores apropiada.

Una esquina sin deflectores podría sufrir unas pérdidas enormes que darían lugar a un coeficiente de pérdida $\zeta_e \geq 1$. Sin embargo si empleamos unos deflectores adecuados el coeficiente de pérdida puede ser de 0.1 o incluso menor. En la *FIGURA 2.11* se muestran las configuraciones más características de codos con vanos. En nuestro caso se empleará la “d”.

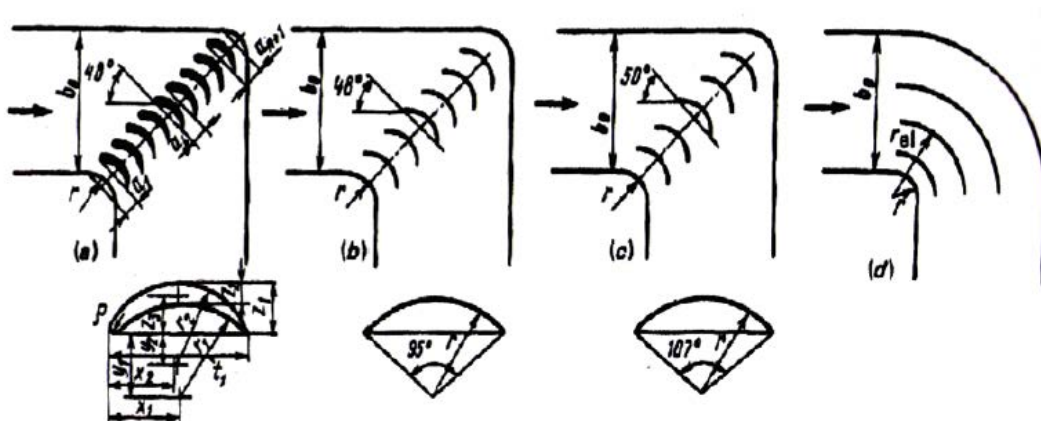


FIGURA 2.11. Configuraciones frecuentes de codos con vanos.

En la FIGURA 2.12 se presentan las características geométricas más relevantes en un codo semejante a los empleados en el proyecto.

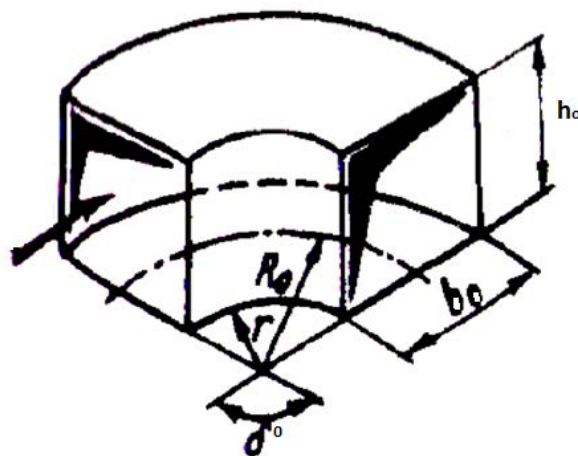


FIGURA 2.12. Geometría de un codo rectangular.

Las características geométricas de los codos se presentan en la TABLA 2.5, donde los codos se han numerado empezando por el codo situado antes de la cámara de ensayos y se han ido numerando sucesivamente siguiendo el recorrido seguido por el flujo.

TABLA 2.5. Datos geométricos de los codos.

	Codo 1	Codo 2	Codo 3	Codo 4
Área, A [m ²]	41.04	15.84	15.84	41.04
Radio, R_0 [m]	4.6	3.4	3.4	4.6
Altura, h_0 [m]	5.7	3.3	3.3	5.7
Anchura, b_0 [m]	7.2	4.8	4.8	7.2
r [m]	1	1	1	1
D_h [m]	6.36	3.91	3.91	6.36
δ°	90	90	90	90



Puesto que queremos instalar unos vanos concéntricos, el número de vanos requeridos viene determinado por los datos tomados por Khanzhonkov y Taeliev⁴⁰ que se muestra en la *TABLA 2.6*.

TABLA 2.6. Número óptimo de vanos en función de la relación r/b_0 .

r/b_0	0-0.1	0.1-0.4	0.1-1	1
N_d	3-4	2	1	0

Aplicando esta tabla a los codos de estudio el resultado oscila entre 0.1 y 0.3 para todos los codos por lo que se deberían emplear 2 deflectores por codos. La distancia entre estos deflectores se calcula mediante la expresión (2.28).

$$d_i = 1.26d_{i-1} + 0.07b_0 \quad (2.28)$$

Con esta expresión obtenemos los resultados que se muestran en la *TABLA 2.7*.

TABLA 2.7. Distancia de cada vano en los diferentes codos.

<i>distancias</i>	Codo 1	Codo 2	Codo 3	Codo 4
d_1	0.50	0.34	0.34	0.50
d_2	1.14	0.76	0.76	1.14

A continuación se representan los codos 1-4 y 2-3 respectivamente, con sus correspondientes vanos, los cuales han sido coloreados para tener una mejor visualización de los mismos (*FIGURAS 2.13*).

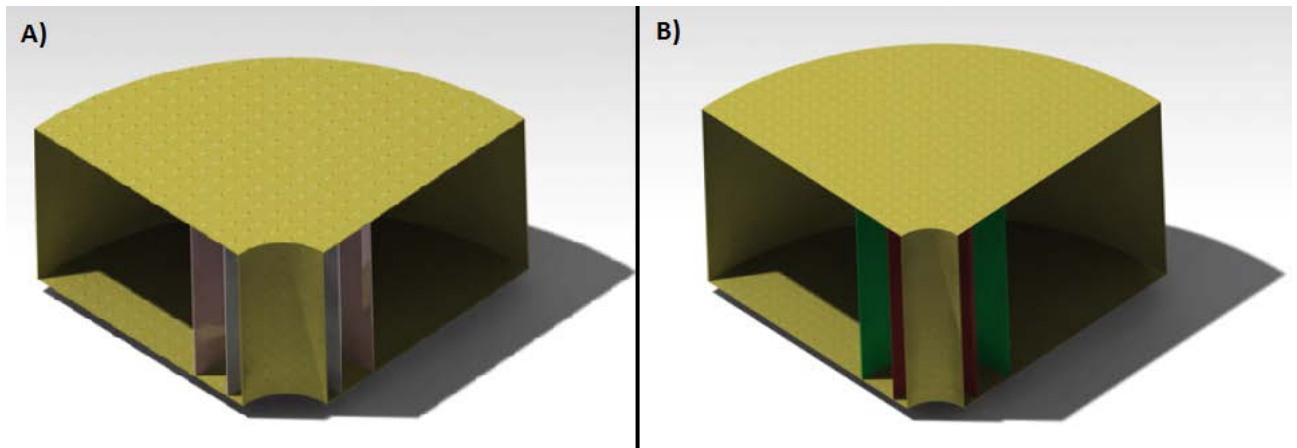


FIGURA 2.13. Geometría de los codos (diseñados con CATIA V5). A) Codo 2 y 3. B) Codo 1 y 4.

2.9 Diseño de los elementos reductores de turbulencia.

Las rejillas de seguridad se eligen para proteger el ventilador. Se trata de un elemento que supone una pérdida de carga importante debido a que está localizado en una parte del circuito de relativa alta velocidad. Las otras rejillas tienen otro propósito fundamental que es el control de turbulencia.

El objetivo de obtener un flujo de aire constante y uniforme a través de las secciones del túnel aerodinámico ha supuesto uno de los focos de atención más importante del último siglo. Los elementos empleados para conseguir estos objetivos son las rejillas y los paneles “*honeycombs*”.

➤ *Honeycombs*

Tal y como dijo Prandtl³⁴, “Un *honeycomb* es un dispositivo guía a través del cual los filamentos individuales de aire pasan paralelamente”. Los parámetros de diseño para un panel *honeycomb* son la relación entre la longitud-diámetro hidráulico unicelular y la porosidad. El parámetro operacional es el número de Reynolds.



Normalmente la relación longitud-diámetro de la célula oscila entre 6-8 y la porosidad (relación entre el área libre de paso y el área total de la sección del panel) es cercana a 0.8 ($\bar{f} = 0.8$), sin embargo, estudios recientes, han demostrado que la relación longitud-diámetro óptima para los *honeycombs*, oscila entre 8 y 10⁴¹.

Los *honeycombs* se utilizan fundamentalmente para eliminar variaciones en la velocidad lateral, enderezando la corriente, otro uso es el de reducir la turbulencia, pero lo adecuado para esto es emplear rejillas porque su efecto es considerablemente mayor. Las celdas pueden ser hexagonales, cuadradas, triangulares, etc. No obstante, se ha demostrado⁴² que la calidad del flujo a la salida de los paneles es independiente de la forma del panel. Por lo tanto, se escogerá aquel panel que genere menos pérdidas y además sea más económico.

En las *FIGURAS 2.14- 2.16* se muestran diferentes soluciones de diseño para los *honeycombs*.

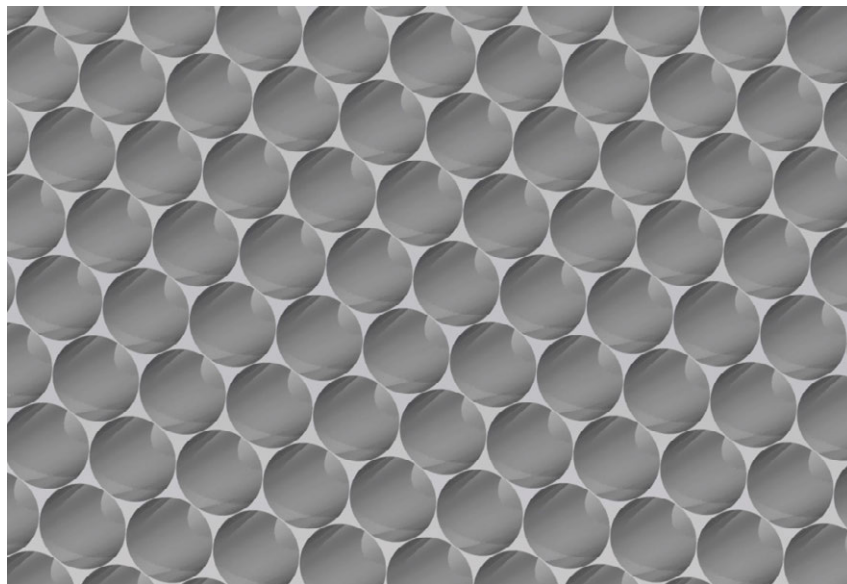


FIGURA 2.14. *Honeycomb de elementos circulares.*

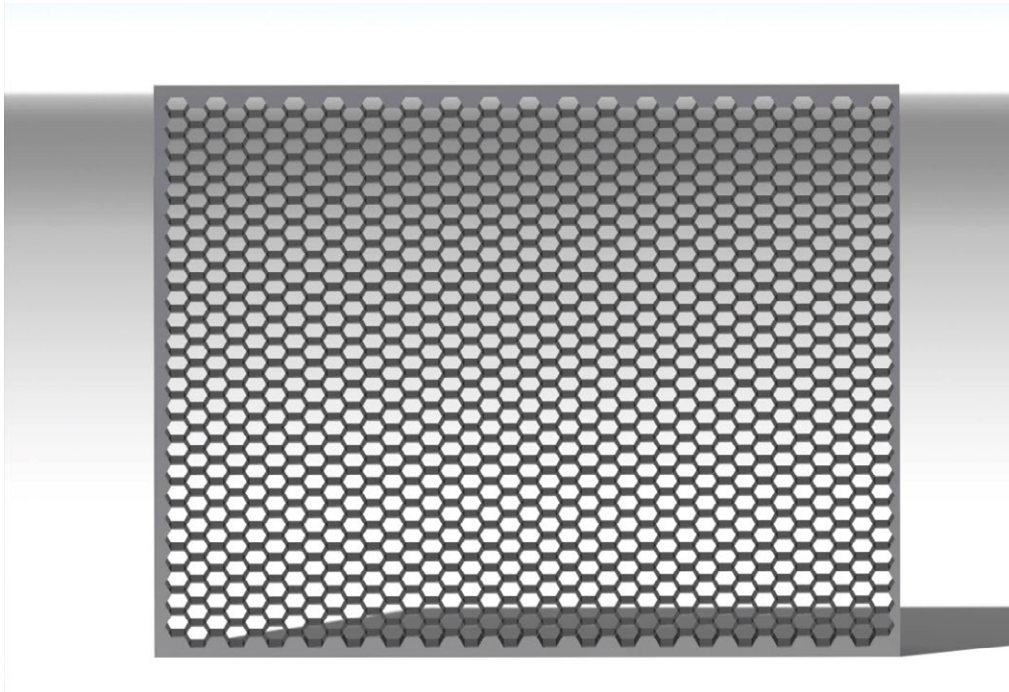


FIGURA 2.15. *Honeycomb de elementos hexagonales.*

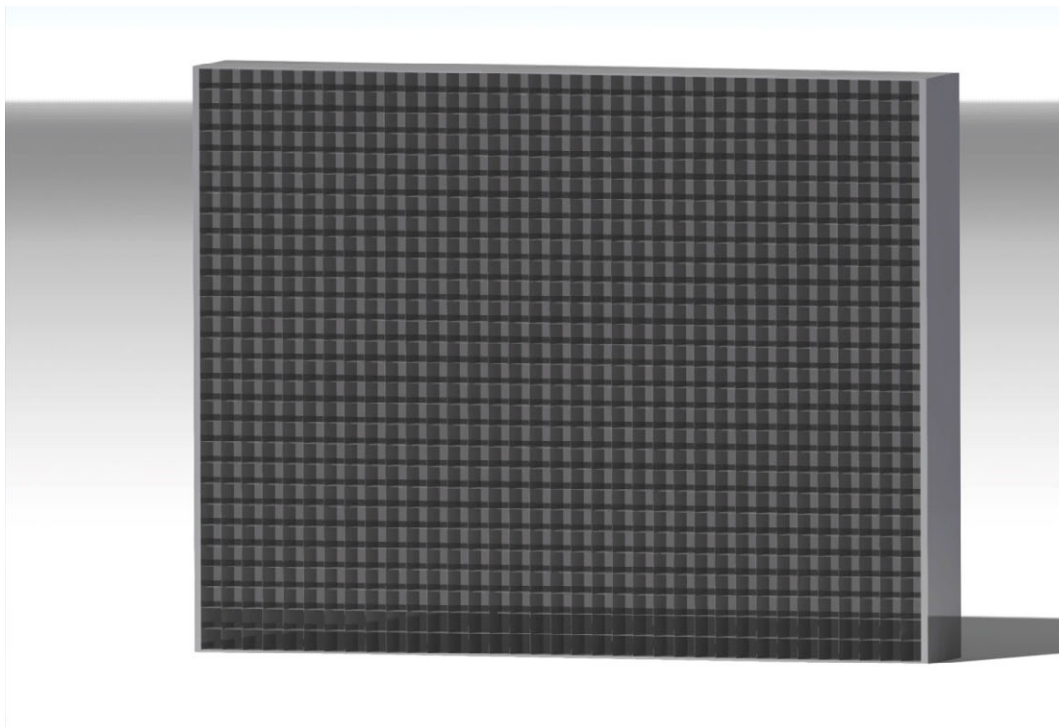


FIGURA 2.16. *Honeycomb de elementos cuadrados.*



Una vez realizado el estudio de las pérdidas de carga (capítulo 3) se ha determinado que el panel elegido será el de elementos cuadrados por dos razones, la primera y más importante, es porque las pérdidas son menores, y la segunda es que el coste de producción también es menor. En cuanto a sus características hay que destacar que su longitud es de 1.2 metros, su porosidad será de 0.93 y estará formado por elementos cuadrados de 20 x 20 centímetros con una separación entre ellos de 2 milímetros.

Desde el punto de vista de la colocación, el panel se situará en la cámara de tranquilización, para que las pérdidas sean menores.

➤ **Rejillas de turbulencia**

Al igual que con el panel *honeycomb*, introduciremos las rejillas de turbulencia tal y como lo hizo Prandtl³⁴:

“Con los paneles *honeycombs* no se consigue una velocidad estándar de referencia, pero se puede conseguir con las rejillas. La resistencia del flujo generada por un alambre de la rejilla es aproximadamente proporcional al cuadrado de la velocidad. Consecuentemente, la resistencia en el flujo la cual presenta diferentes velocidades localmente, es mayor en los puntos de más velocidad que en los de menos. Esto junto con el hecho de que la caída de presión final es aproximadamente la misma para todos los filamentos del flujo, el resultado es que el filamento más rápido se expande hasta golpear la rejilla, el más lento se contrae y así las velocidades se compensan hasta pasar a través de la rejilla.”

De esta forma las rejillas consiguen perfiles de velocidades más uniformes y reducen el tamaño de la turbulencia, el inconveniente es que genera una caída de presión. Otra utilidad de estos sistemas es que permiten reducir el espesor de la capa límite de la corriente pudiendo soportar mejor los gradientes de presión adversos. Las rejillas deben de tener una porosidad mayor de 0.57, porque de lo contrario podría dar lugar a la inestabilidad del flujo en la cámara de ensayos.



Cuando se emplean una mayor cantidad de rejillas, el factor de reducción de turbulencia total es el producto de los factores individuales, por ello, para aquellos casos en los que la turbulencia sea muy elevada, será más conveniente colocar varias etapas de rejillas con mayor porosidad, que una sola con menor porosidad. Otra de las ventajas de esta disposición es que a diferencia de los que ocurre con el factor de reducción de turbulencia, los coeficientes de caída se suman.

Desde el punto de vista de la colocación, se puede instalar en varios lugares; antes de la cámara de ensayos (tal y como estaba previsto en el primer prototipo), a lo largo de la contracción, o bien en la cámara de tranquilización. Centrándonos en el caso de que se coloquen en la contracción, hay estudios⁴² que demuestran que si se colocan rejillas entre la zona cóncava y convexa el nivel de turbulencia no se reduce todo lo que lo haría en cualquier otro lugar, por lo que si se sitúa en la contracción habría que desestimar esta posición. Si se decidiera su colocación en las proximidades de la cámara de ensayos, la velocidad ahí es la máxima del túnel, por lo que las pérdidas de carga son mayores. Por ello cabe pensar que la mejor opción es colocar estos elementos en la cámara de tranquilización. Sin embargo, será inevitable colocar al menos una rejilla después de la contracción, porque el flujo tras atravesarla no es todo lo estable que debería. Por todo ello, se empleará una única rejilla situada al comienzo de la cámara de ensayos, su porosidad será de 0.95 y estará formada por alambres entrecruzados, ya que las pérdidas de carga son ligeramente menores que si se emplean alambres en dos planos (capítulo 3).

Otro factor a tener en cuenta es que el paso del tiempo hará que tanto las rejillas como el panel *honeycomb* se ensucien y se llenen de polvo. Por lo que será necesario prever este fenómeno e instalar algún mecanismo apropiado que proporcione accesibilidad al interior por motivos de mantenimiento. En el caso de la rejilla no habrá ningún problema puesto que la puerta de la cámara de ensayos permitirá tener acceso a esa zona, sin embargo, sí que será necesario instalar una



puerta adicional o un mecanismo que permita sacar la sección de los paneles para su inserción y mantenimiento. Finalmente se ha optado por una sección desmontable guiada por raíles para poder introducir el panel y para facilitar las labores de mantenimiento.

2.10 Conductos de adaptación

Dentro de estos conductos se encuentra la cámara de tranquilización, que a partir de este momento se designará con el nombre de conducto 1 y está situada antes de la contracción. Además de esta cámara, hay otros cinco conductos que se irán nombrando según el sentido seguido por el flujo. El inconveniente de que esta longitud sea demasiado larga es que las pérdidas de carga aumentan, pero es preferible ser más exigente en la elección y el dimensionado de la planta de potencia a que el flujo no sea estable y nos condicione el resultado de los ensayos.

En la *TABLA 2.8* se presentan los datos geométricos de todos los conductos. Y en la *FIGURA 2.17* se muestran dichos conductos en 3D.

TABLA 2.8. Geometría de los conductos.

	Conducto 1	Conducto 2	Conducto 3	Conducto 4	Conducto 5	Conducto 6
$b \text{ (m)}$	7.2	4.8	4.8	4.8	7.2	7.2
$h \text{ (m)}$	5.7	3.3	3.3	3.3	5.7	5.7
$A \text{ (m}^2\text{)}$	41.04	15.84	15.84	15.84	41.04	41.04
$L \text{ (m)}$	2	2	10.4	2	2	8

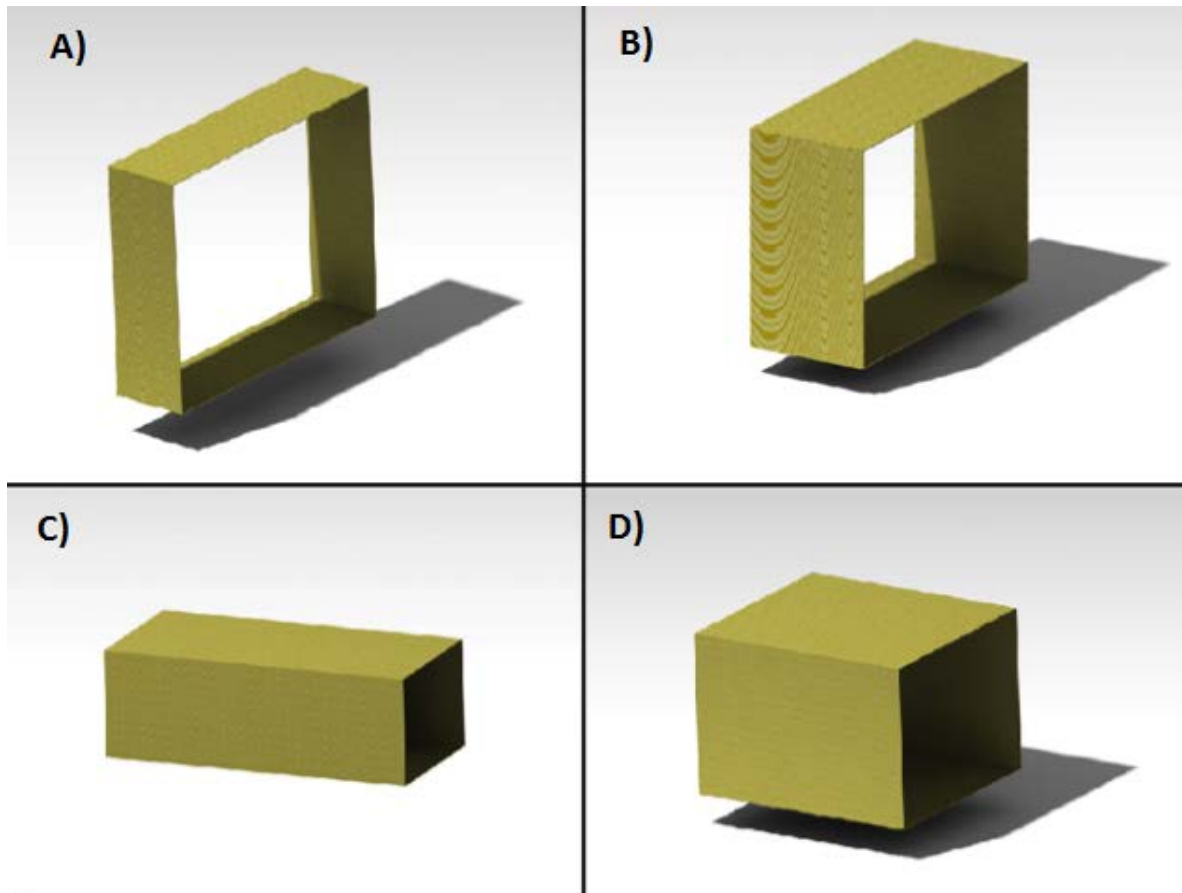


FIGURA 2.17. Geometría en 3D de todos los conductos de adaptación del túnel aerodinámico (diseño realizado con CATIA V5). A) Conductos 1 y 5. B) Conductos 2 y 4. C) Conducto 3. D) Conducto 6.

2.11 Dispositivos generadores de turbulencia

Estos elementos serán necesarios cuando realicemos ensayos de aerodinámica civil, y cuya misión es la de generar la capa límite adecuada. Hay dos métodos posibles:

- Métodos activos: los cuales emplean pequeñas toberas direccionales a la entrada de la cámara de ensayos las cuales generan turbulencia y engrosan la capa límite.

- Métodos pasivos: Son las agujas, colocadas al inicio de la cámara de ensayos y elementos rugosos colocados a lo largo de la cámara. Son los más comunes y serán los que se utilizarán en el proyecto.

Los dos tipos de elementos distintos que se emplearán serán los elementos generadores de rugosidad, cuyos parámetros fundamentales se muestran en la FIGURA 2.18.a y por otro lado se utilizarán agujas cuyos parámetros fundamentales se reflejan en la FIGURA 2.18.b.

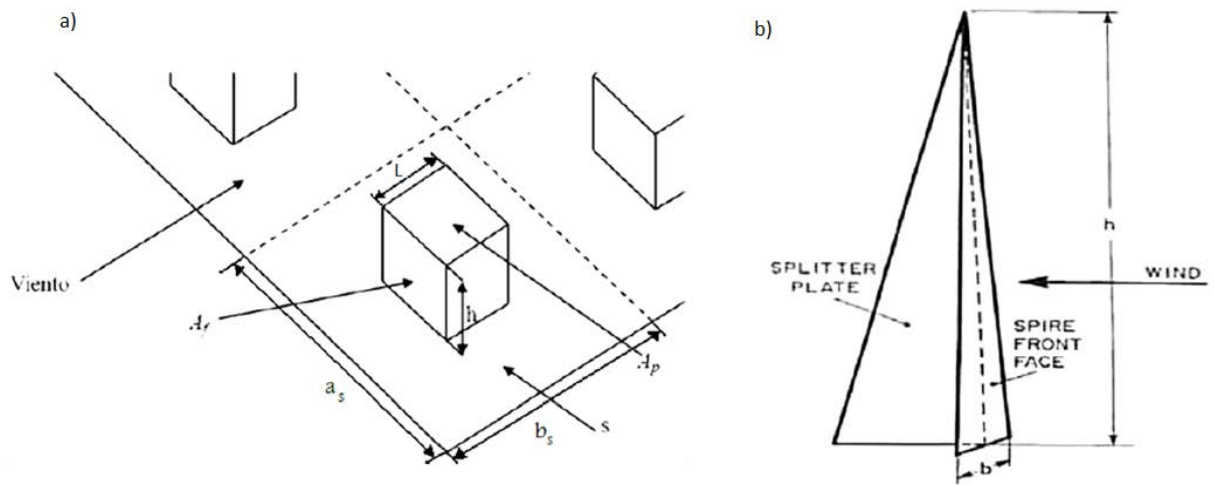


FIGURA 2.18. Dispositivos generadores de turbulencia. a) elementos generadores de rugosidad. b) agujas.

Puesto que el túnel que se estudia es de propósito general no se profundizará en el estudio de este tipo de elementos dado que se van a emplear en un tipo concreto de ensayo.

Para calcular la altura de los elementos rugosos se puede hacer uso de la expresión (2.29) o (2.30).

$$\frac{z_0}{h} = 1.08 \frac{A_p}{s} - 0.08 \quad (2.29)$$

$$\frac{z_0}{h} = 1.8 \frac{A_f}{s} - 0.08 \quad (2.30)$$



siendo h la altura del elemento, A_p el área en planta del elemento, s el área en planta por elemento rugoso y A_f el área frontal de los elementos.

En cuanto a las agujas, se comienza calculando su altura (2.31) y posteriormente se calcula la relación base-altura (2.32).

$$h = \frac{1.39\delta}{1 + \alpha'/2} \quad (2.31)$$

$$\frac{b}{h} = 0.5 \left[\frac{\varphi' \left(\frac{h_{c.e.}}{\delta} \right)}{1 + \varphi'} \right] \left(1 + \frac{\alpha'}{2} \right) \quad (2.32)$$

$$\varphi' = \beta' \frac{\frac{2}{1+2\alpha'} + \beta' - \frac{1.13\alpha'}{1+\alpha'(1+\alpha'/2)}}{(1 - \beta')^2} \quad (2.33)$$

$$\beta' = \frac{\alpha' \left(\frac{\delta}{h_{c.e.}} \right)}{1 + \alpha'} \quad (2.34)$$

donde α' es la altura de la capa límite propia de la categoría de terreno requerida.

En cuanto a la colocación de estos elementos en la cámara de ensayos, por norma general se coloca a una distancia inferior a $h/4$ entre ellas, dejando ese mismo espacio respecto a las paredes. Las agujas generan una capa límite de altura δ durante una longitud equivalente a $6h$ en el sentido de la corriente. A partir de esta longitud, la capa límite aumenta su longitud como consecuencia de la rugosidad del terreno. Para estimar este aumento de espesor se recurre a la expresión (2.35) que es válida hasta longitudes comprendidas entre $6h$ y $6h + \Delta x$.

$$\Delta\delta = 0.068\alpha' \left(\frac{1+2\alpha'}{1+\alpha'} \right) \Delta x \cdot F \quad (2.35)$$

donde F es un factor que refleja la caída de presión en conductos de sección rectangular como consecuencia del crecimiento de la capa límite, y viene determinado por la expresión (2.36).



$$\frac{1}{F} \cong 1 + \left(\frac{\delta}{h_{c.e.}} \right) \left[\frac{\alpha'^{(3+2\alpha')}}{1 + \alpha'^{\left(1 - \frac{\delta}{h_{c.e.}}\right)}} \right] \quad (2.36)$$

En la *TABLA 2.9* se muestran las características de las agujas y elementos rugosos para un caso concreto que corresponde a categoría de terreno IV y una escala 1:200.

TABLA 2.9. Geometría de las agujas y bloques.

AGUJAS						
α'	$h(m)$	ϕ'	β'	b/h	$b(m)$	
0.3	1.45	0.164	0.115	0.162	0.235	
BLOQUES						
$z_o\ (m)$	$h(m)$	$A_f\ (m^2)$	A_f/s	$s(m^2)$	$a_s(m)$	$b_s(m)$
0.02	0.15	0.0225	0.1185	0.1898	0.3375	0.5625

2.12 Conducto de los ventiladores

Este conducto será de 7.2 x 5.7 metros de sección transversal y de 8 metros de longitud (*FIGURA 2.19*). El motivo de esta gran longitud es que las dimensiones del túnel son muy elevadas y por lo tanto puede ser interesante colocar dos etapas de ventiladores para aumentar en un factor de dos el incremento de presiones. Esta posible opción junto con otras, se estudiarán en el capítulo 4.

Por otra parte, se instalará una plataforma móvil para poder insertar y extraer la malla de ventiladores tanto para su instalación como para su mantenimiento. Pero para evitar pérdidas de tiempo innecesarias, también se instalará una puerta para realizar las labores de mantenimiento rutinarias.

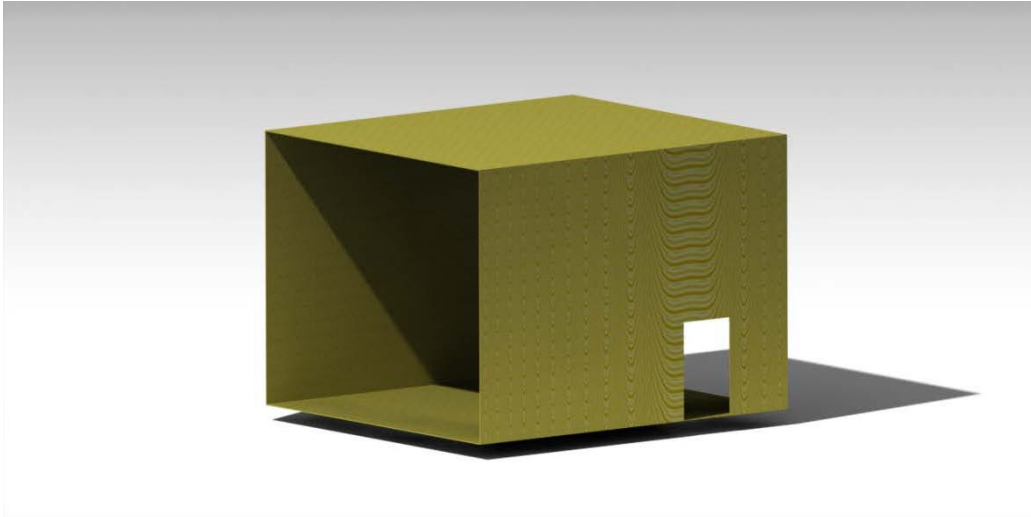


FIGURA 2.19. Sección de los ventiladores en 3D (diseño realizado en CATIA V5).

2.13 Geometría final del túnel aerodinámico

Una vez estudiados y seleccionados todos los elementos y partes del túnel, se muestra en las FIGURAS 2.20 y 2.21, la configuración final del túnel aerodinámico.

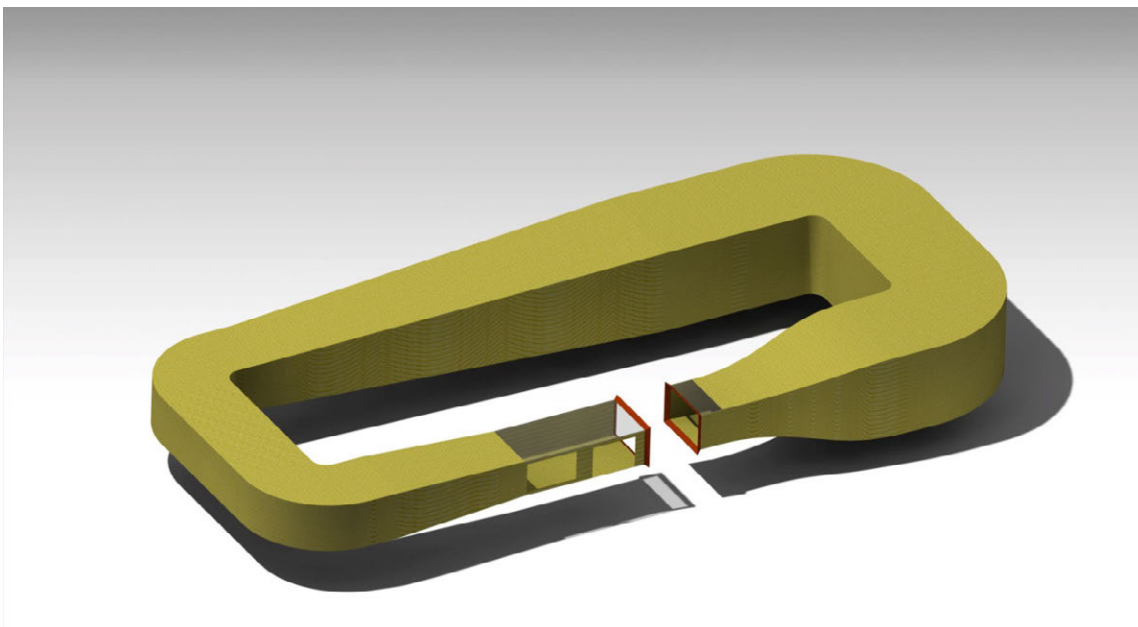


FIGURA 2.20. Geometría del túnel aerodinámico en configuración de cámara de ensayos abierta.

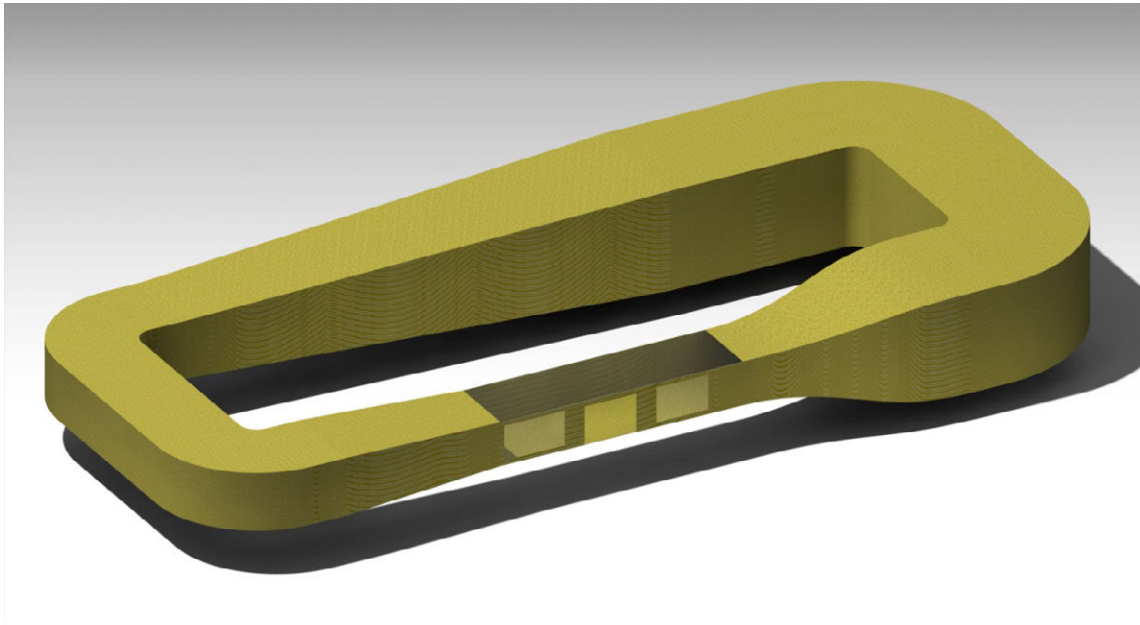


FIGURA 2.21. Geometría del túnel aerodinámico en configuración de cámara de ensayos abierta.

Aunque el propósito de este proyecto no está dirigido al cálculo estructural del túnel, hay que definir de manera superficial la disposición de la misma, ya que influirá en la instalación eléctrica. Tras realizar un estudio basado en túneles similares, se ha llegado a la conclusión de que el túnel estará levantado del suelo gracias a un soporte estructural equiespaciado cada 2 metros que lo elevará a una distancia en su parte más baja de 1.5 metros (la correspondiente a los conductos 1, 5 y 6, a los codos 1 y 4 y al conducto de los ventiladores).



(Página intencionadamente en blanco)



3. PÉRDIDAS DE CARGA



(Página intencionadamente en blanco)



3 PÉRDIDAS DE CARGA

3.1 Introducción

Las pérdidas de carga hacen referencia a las diferencias de presión que se producen en las distintas geometrías de nuestro túnel aerodinámico. Su importancia es tal, que se ha dedicado un capítulo a su análisis porque serán las variables que determinen la planta de potencia empleada en el proyecto. Para dimensionar la planta de potencia correctamente se calcularán las pérdidas de carga para el caso más desfavorable, es decir, para el ensayo en el que la velocidad sea máxima (40 m/s).

Hay dos tipos de pérdidas de presión, las pérdidas de presión debidas a la fricción y las pérdidas de presión locales. Las pérdidas por fricción son debidas a la viscosidad de los fluidos reales, y como resultado de la transferencia de energía cinética entre moléculas y entre partículas individuales de las capas adyacentes del fluido que se desplazan a diferentes velocidades.

Por otra parte, las pérdidas de presión locales son producidas por distorsiones locales del flujo, separación del flujo de las paredes, etc. Todos estos fenómenos contribuyen al intercambio de energía cinética entre las partículas fluidas en movimiento y se mejora así la disipación de energía. Este tipo de pérdida de presión producida en cualquier elemento complejo del túnel es inevitable.

Una vez definidas ambos tipos de pérdidas se calcula la pérdida total de acuerdo con el principio de superposición de forma que $\Delta P_t = \Delta P_{fr} + \Delta P_{loc}$.



3.2 Pérdidas de carga en la cámara de ensayos

Las pérdidas de carga producidas en conductos rectos rectangulares como es el caso de la cámara de ensayos se pueden calcular a través de la ecuación de Darcy-Weisbach⁴³:

$$\Delta P_{c.e.} = \lambda \frac{\Pi_{c.e.}}{4A_{c.e.}} l_{c.e.} \frac{\rho V_{c.e.}^2}{2} = \frac{\lambda l_{c.e.}}{4 R_h} \frac{\rho V_{c.e.}^2}{2} \quad (3.1)$$

O bien

$$\Delta P_{c.e.} = \lambda \frac{l_{c.e.}}{D_h} \frac{\rho V_{c.e.}^2}{2} = \zeta_{c.e.} \frac{\rho V_{c.e.}^2}{2} \quad (3.2)$$

siendo $\Pi_{c.e.}$ el perímetro, D_h el diámetro hidráulico que se determina como $D_h = \frac{2b_{c.e.}h_{c.e.}}{b_{c.e.}+h_{c.e.}}$. El inconveniente de emplear este método es que solo es admisible cuando el espesor de la capa límite $\delta_{c.e.}$ sea mucho menor que todo o casi todo el perímetro de la sección transversal, comparado con las dimensiones de la sección transversal de la cámara de ensayos, es decir, $\delta_{c.e.} \ll D_h$.

Si asumimos que las tensiones tangenciales a lo largo y a lo ancho difieren, pero sus distribuciones sobre las paredes son uniformes, podemos emplear la fórmula propuesta por Skrebkov y Lozhkiu (3.3)^{26,27,28} para calcular el coeficiente de fricción.

$$\lambda = 4 \frac{b_{c.e.}/h_{c.e.}}{1 + b_{c.e.}/h_{c.e.}} \left(1 + \frac{\lambda_c h_{c.e.}}{\lambda_l b_{c.e.}} \right) \lambda_l \quad (3.3)$$

donde λ_c es coeficiente de fricción de la pared corta y λ_l el de la pared larga. Estos coeficientes se calculan mediante leyes de resistencia para una pared plana (λ_{pl}) dependiente de las características del número de Reynolds y de la rugosidad de la pared (Δ).

$$(\lambda_{pl})_c = f \left[(Re_{pl})_{\frac{b_{c.e.}}{2}}, \bar{\Delta}_c \right] \quad (3.4)$$



$$(\lambda_{pl})_l = f \left[(Re_{pl})_{\frac{h_{c.e.}}{2}}, \bar{\Delta}_l \right] \quad (3.5)$$

Otra alternativa utilizada en muchas ocasiones para calcular el coeficiente de pérdida de secciones no circulares, es la de calcular el coeficiente de fricción para un conducto circular y aplicarle un factor de corrección. En nuestro caso sería $\lambda_{c.e.} = k_{c.e.} \lambda$, donde λ es el coeficiente de fricción para un conducto de sección circular que tenga el mismo número de Reynolds. Este será el método que se utilizará.

Para determinar el coeficiente de fricción en un conducto de sección circular hay una gran variedad de métodos dependiendo de la región en la que nos encontremos y dependiendo de las propiedades del fluido. En nuestro caso supondremos que la rugosidad es nula puesto que se pintará el interior del túnel.

La ley de Hagen-Poiseuille aplicable a régimen laminar (hasta $Re \approx 2000$) es $\lambda = 64/Re$, cuya ventaja es la independencia del coeficiente de fricción con la rugosidad.

Para el régimen de transición, comprendido entre Reynolds 2000-4000, el coeficiente de fricción responde a la expresión $\lambda = 0.3164/Re^{0.25}$.

El tercer régimen se le llama cuadrático y se caracteriza porque para cada valor de rugosidad relativa ($\bar{\Delta}$), el coeficiente de resistencia se hace constante independientemente del número de Reynolds. Para este régimen hay dos casos, conductos rugosos o lisos. El primero de ellos se determina con la expresión de Nikuradse's²⁹, que fue mejorada posteriormente por Teplov³⁰ (3.6) o por Altshul³¹ (3.7).

$$\lambda = \frac{1}{\left(1.8 \log \left(\frac{8.3}{\bar{\Delta}}\right)\right)^2} \quad (3.6)$$

$$\lambda = \frac{1}{\left(1.8 \log \left(\frac{10}{\bar{\Delta}}\right)\right)^2} \quad (3.7)$$

Para el segundo caso, el coeficiente de fricción para conductos circulares de pared lisa se determina mediante la expresión propuesta por Filonenko³² (3.8).

$$\lambda = \frac{1}{(1.8 \log(Re) - 1.64)^2} \quad (3.8)$$

En el túnel que se está estudiando, las variables geométricas que definen la cámara de ensayos son las que se muestran en la *FIGURA 3.1*.

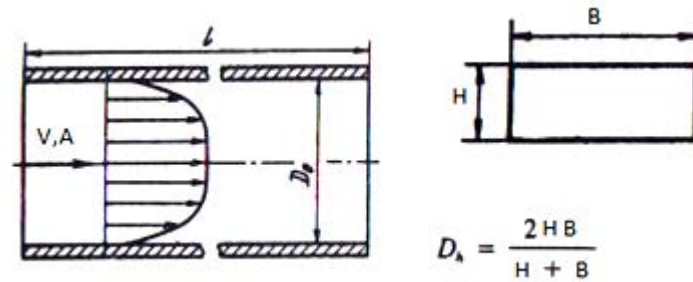


FIGURA 3.1. Geometría de la cámara de ensayos.

Tenido en cuenta que la viscosidad dinámica del aire es $\mu = 17.4 \mu Pa \cdot s$, el diámetro hidráulico de la cámara de ensayos es $D_h = 3.07692$, la densidad de Madrid es aproximadamente $1.18697 kg/m^3$, la velocidad es de $V = 40 m/s$ y haciendo uso de la expresión (3.9) donde $\nu = \mu/\rho$ el número de Reynolds es $Re \approx 8 millones$.

$$Re = \frac{V \cdot D_h}{\nu} \quad (3.9)$$

Con este valor del número de Reynolds empleamos la ecuación (3.8) para calcular el coeficiente de fricción para un conducto circular, de manera que el resultado es $\lambda = 0.00854$. Para comprobar la validez del resultado podemos recurrir a la solución que se muestra en el *GRÁFICO 3.1*, y en la *TABLA 3.1* que como se puede observar es muy similar.

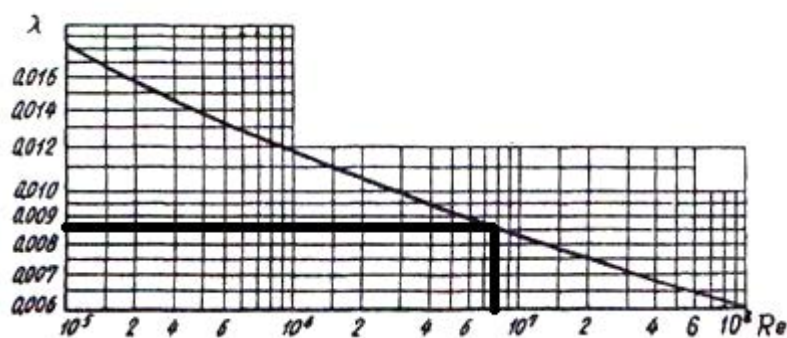


GRÁFICO 3.1. Para régimen turbulento correspondiente a $Re > 4000$.

Re	$2 \cdot 10^3$	$2.5 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$	10^4	$1.5 \cdot 10^4$	
λ	0.032	0.034	0.040	0.040	0.038	0.036	0.033	0.032	0.028	
Re	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^4$	10^5	$1.5 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
λ	0.026	0.024	0.022	0.021	0.020	0.019	0.018	0.017	0.016	0.015
Re	$4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$	10^6	$1.5 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$	
λ	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.011	0.011	0.010	0.010	
Re	$5 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^6$	10^7	$1.5 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^7$	10^8	
λ	0.009	0.009	0.008	0.008	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006	

TABLA 3.1. Coeficiente de fricción para diferentes valores del número de Reynolds.

Una vez calculado el valor del coeficiente de fricción para el caso de un conducto circular, calculamos a continuación el equivalente a un conducto rectangular. Para ello recurrimos a la TABLA 3.2 para obtener $k_{c.e.}$, y puesto que $\frac{H}{B} = 0.625 \approx 0.6$, el resultado es $k_{c.e.} \approx 1.02$. Para confirmar la solución comprobamos es GRÁFICO 3.2, el cual proporciona una solución similar.



Correction factor $k_{c.e.}$							
Laminar regime ($Re < 2000$, curve 1)							
$\frac{H}{B}$	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$k_{c.e.}$	1.50	1.34	1.20	1.02	0.94	0.90	0.89
Turbulent regime ($Re > 2000$, curve 2)							
$k_{c.e.}$	1.10	1.08	1.06	1.04	1.02	1.01	1.0

TABLA 3.2. Factor de corrección para secciones rectangulares.

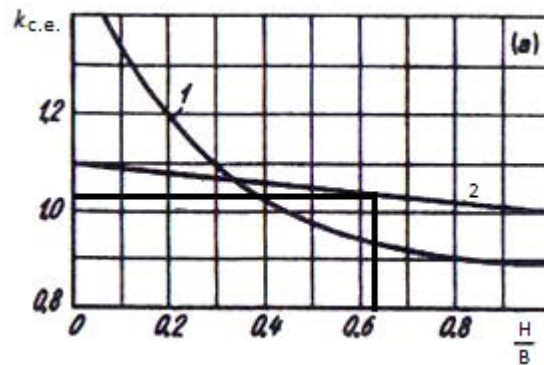


GRÁFICO 3.2. Factor de corrección en función de H/B .

De forma que el coeficiente de fricción para la sección rectangular sería:

$$\lambda_{c.e.} = k_{c.e.} \lambda = 1.02 \cdot 0.00854 = 0.00871$$

Por último haciendo uso de la expresión (3.2), obtenemos una pérdida de carga en la cámara de ensayos igual a:

$$\Delta P_{c.e.} = \lambda_{c.e.} \frac{l_{c.e.}}{D_h} \frac{\rho V_{c.e.}^2}{2} = 0.00871 \cdot \frac{14 \text{ m}}{3.07692 \text{ m}} \cdot \frac{1.18697 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 40^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2} = 37.62 \text{ Pa}$$



3.3 Pérdidas de carga en los difusores

El coeficiente de pérdida de un difusor, al igual que la estructura que presenta el flujo que circula a través de él y los fenómenos de desprendimiento, dependen de muchos factores como el ángulo de divergencia (α), la relación de áreas (n_d), la forma de la sección transversal, el espesor de la capa límite, los efectos de compresibilidad del flujo, etc.

Las características del flujo en un difusor de sección rectangular no varían en exceso respecto a un difusor con sección cónica. Sin embargo, las condiciones del flujo están influidas por las esquinas. Esto, trae como consecuencia que las pérdidas en este tipo de difusores sean mayores.

En la expansión producida en el difusor, se producen tanto pérdidas como consecuencia de la expansión y fricción en las paredes. La mecánica del fluido en el difusor es bastante compleja. Las pérdidas totales que se producen en nuestro difusor corresponden a la siguiente expresión:

$$\zeta_d = \frac{\Delta P}{\rho V_e^2 / 2} = \zeta_f + \zeta_{un} + \zeta_{non} \quad (3.10)$$

siendo ζ_d el coeficiente de pérdida total en el difusor, ζ_f el coeficiente de pérdida por fricción, ζ_{un} el coeficiente que refleja las pérdidas de expansión que se producirían con un perfil de velocidades uniforme en su sección de entrada, que es, para $\bar{l}_0 = l_0/D_{h0} = 0$, y ζ_{non} el coeficiente que refleja la corrección a ζ_{un} como consecuencia de que el perfil de velocidades a la entrada no es uniforme.

El coeficiente de fricción para el caso de nuestro difusor, responde a la expresión

$$\zeta_f = \left(1 - \frac{1}{n_d^2}\right) \frac{\lambda}{8 \sin \alpha / 2} \quad (3.11)$$

siendo λ una función del Re y $\bar{\Delta}$.



Mientras que el coeficiente que refleja las pérdidas de expansión ideales, sería:

$$\zeta_{un} = \phi \left(1 - \frac{1}{n_d}\right)^m \quad (3.12)$$

siendo $\phi = f(\alpha, Re)$ recogido en la *TABLA 3.3* y con $m=1.76$ para el caso de un difusor cuya expansión se produzca en tres dimensiones y $m=1.64$ si la expansión se realiza en un plano. Y la expresión para el coeficiente que tiene en cuenta la no uniformidad del perfil de velocidades es:

$$\zeta_{non} = 0.024(0.625\alpha)^{s'} [1 - (2.81n_d - 1.81)^{-1.04}] (0.303\bar{l}_0)^{t'} (4.8 \cdot 10^{-7} Re_e + 1.8)^u \quad (3.13)$$

donde

$$s' = \frac{1.06}{1 + 2.82 \cdot 10^{-3} \alpha^{2.24}} \quad (3.14)$$

$$t' = \frac{0.73}{1 + 4.31 \cdot 10^{-6} \bar{l}_0^{7.31}} \quad (3.15)$$

$$u = \frac{1}{1 + 1.1 \cdot 10^{-30} Re_e^{5.62}} \quad (3.16)$$

$$\bar{l}_0 = \frac{l_0}{D_{h0}} \quad (3.17)$$

El diámetro adimensional hidráulico del difusor para el caso en el que $a_0 \neq b_0$ y $\alpha \neq \beta$, es igual a

$$\bar{D}_{hx} = \frac{D_{hx}}{D_{h0}} = \frac{2\bar{a}_x\bar{b}_x}{\bar{a}_x + \bar{b}_x} \quad (3.18)$$

con, $a_x = a_0 + 2x \cdot tg(\alpha/2)$ y $b_x = b_0 + 2x \cdot tg(\beta/2)$, resulta



$$\begin{aligned} \bar{D}_{hx} \\ = \frac{2\bar{a}_0\bar{b}_0 + 4\bar{x}(\bar{a}_0 \cdot tg(\beta/2) + \bar{b}_0 \cdot tg(\alpha/2)) + 8\bar{x}^2 \cdot tg(\alpha/2)tg(\beta/2)}{\bar{a}_0 + \bar{b}_0 + 2\bar{x}(tg(\alpha/2) + tg(\beta/2))} \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$\bar{a}_x = \frac{a_x}{D_{h0}}; \quad \bar{b}_x = \frac{b_x}{D_{h0}} \quad (3.20)$$

La longitud relativa para el difusor sería

$$\begin{aligned} \tilde{x} &= \int_0^x \frac{d\bar{x}}{\bar{D}_{hx}} \\ &= \left[\frac{\bar{a}_0 + \bar{b}_0}{4\bar{a}_0tg(\beta/2) - \bar{b}_0tg(\alpha/2)} - \frac{(\bar{a}_0tg(\beta/2) + \bar{b}_0tg(\alpha/2))(tg(\alpha/2) + tg(\beta/2))}{2tg(\alpha/2)tg(\beta/2)} \right] \\ &\cdot \ln \frac{2\bar{a}_0\bar{x}tg(\alpha/2)tg^2(\beta/2) + \bar{a}_0\bar{b}_0tg(\alpha/2)tg(\beta/2)}{2\bar{b}_0\bar{x}tg^2(\alpha/2)tg(\beta/2) + \bar{a}_0\bar{b}_0tg(\alpha/2)tg(\beta/2)} + \frac{tg(\alpha/2) + tg(\beta/2)}{8tg(\alpha/2)tg(\beta/2)} \\ &\cdot \ln \frac{4\bar{x}^2tg(\alpha/2) + tg(\beta/2) + 2\bar{x}(\bar{a}_0tg(\beta/2) + \bar{b}_0tg(\alpha/2) + \bar{a}_0\bar{b}_0)}{\bar{a}_0\bar{b}_0} \end{aligned} \quad (3.21)$$

Es muy importante para las aplicaciones prácticas donde se pretende recuperar la máxima presión estática posible en la mínima longitud del difusor, aunque esto traiga consigo mayores pérdidas de energía. En nuestro caso no se considerará porque al no haber problemas de espacio interesa más tener menos pérdidas de carga.

Se sabe que las pérdidas producidas en un conducto divergente son de dos a tres veces mayores que en conducto con sección constante. La razón de este incremento de la pérdida es que el intercambio de energía cerca de las paredes es de una naturaleza tal que el avance realizado en las paredes no se realiza de forma ideal.

Un gradiente de presión adverso en el difusor dará lugar a la separación del flujo. Puesto que aguas abajo en el camino de retorno del fan habrá un flujo más uniforme que en el primer difusor justo aguas abajo de la cámara de ensayos, el ángulo de expansión será en ocasiones más grande.



Una vez presentado las expresiones necesarias para el cálculo de las pérdidas de carga, se procede a determinar dichas pérdidas para ambos difusores.

3.3.1 Difusor 1

Para poder determinar el coeficiente de pérdida total, se aplicarán las expresiones (3.11), (3.12) y (3.13).

Para calcular el coeficiente de fricción, se sabe que $\lambda = 0.00854$ (GRÁFICO 3.1), $n_{d1} = 1.584$ y $\alpha = 5^\circ$, por lo tanto:

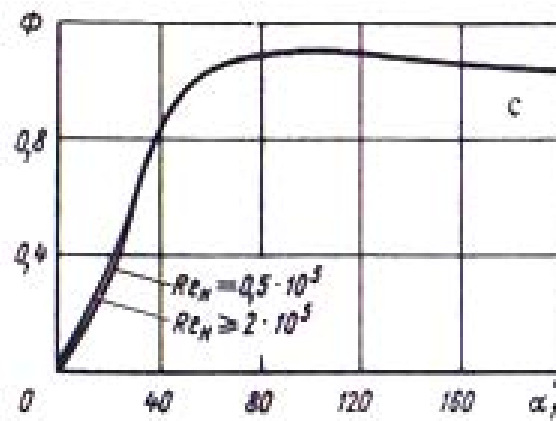
$$\zeta_f = \left(1 - \frac{1}{n_{d1}^2}\right) \frac{\lambda}{8 \sin \alpha/2} = \left(1 - \frac{1}{1.584^2}\right) \frac{0.00854}{8 \sin 5/2} = 0.014719$$

En el cálculo de las pérdidas de expansión ideales, $m = 1.76$ porque la expansión se produce en tres dimensiones y ϕ se obtiene de la TABLA 3.3, cuyo valor puede ser contrastado con el GRÁFICO 3.3.

$$\zeta_{un} = \phi \left(1 - \frac{1}{n_{d1}}\right)^m = 0.05 \left(1 - \frac{1}{1.584}\right)^{1.76} = 0.008636$$

**TABLA 3.3.** Valores de ϕ para distintos valores de número de Reynolds.

Values of ϕ at various Re numbers													
α_1°													
0	5	10	15	20	25	30	40	45	50	60	80	140	180
$Re = 0.5 \times 10^5$													
0	0.10	0.20	0.28	0.36	0.48	0.60	0.84	0.89	0.97	1.04	1.10	1.09	1.06
$Re = 2 \times 10^5$													
0	0.05	0.12	0.23	0.30	0.45	0.60	0.84	0.89	0.97	1.04	1.10	1.09	1.06

GRÁFICO 3.3. Valores de ϕ para distintos valores de número de Reynolds.

Se calcula el coeficiente de corrección (3.13):

$$\zeta_{\text{non}} = 0.024(0.625\alpha)^{s'} [1 - (2.81n_{d1} - 1.81)^{-1.04}] (0.303\bar{l}_0)^{t'} (4.8 \cdot 10^{-7} Re_e + 1.8)^u$$

donde:

$$s' = \frac{1.06}{1 + 2.82 \cdot 10^{-3} \alpha^{2.24}} = \frac{1.06}{1 + 2.82 \cdot 10^{-3} 5^{2.24}} = 0.96037$$

$$t' = \frac{0.73}{1 + 4.31 \cdot 10^{-6} \bar{l}_0^{7.31}} = \frac{0.73}{1 + 4.31 \cdot 10^{-6} \bar{l}_0^{7.31}} = 0.57106$$



$$u = \frac{1}{1 + 1.1 \cdot 10^{-30} Re_e^{5.62}} = \frac{1}{1 + 1.1 \cdot 10^{-30} \cdot 8396149^{5.62}} = 1.10988 \cdot 10^{-9}$$

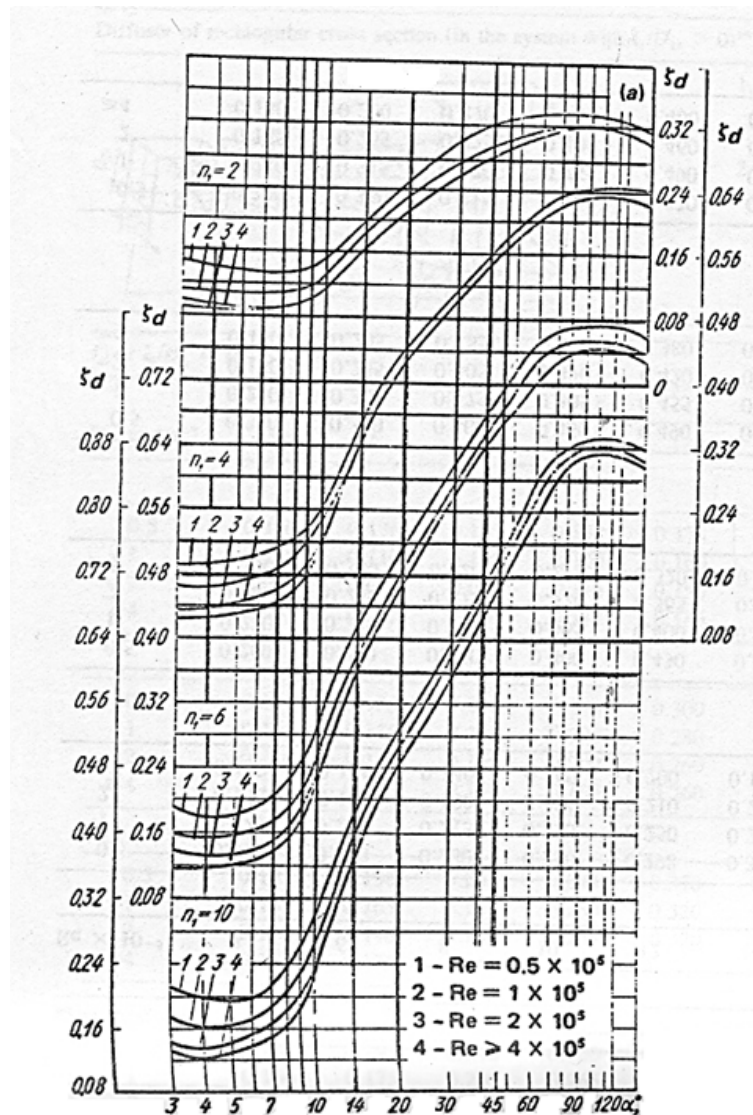
$$\bar{l}_0 = \frac{l_0}{D_{h0}} = \frac{14}{3.07692} = 4.55$$

$$\zeta_{non} = 0.054752$$

$$\zeta_{d1} = \zeta_f + \zeta_{un} + \zeta_{non} = 0.078107$$

Este resultado para el coeficiente de pérdida total del difusor es coherente, puesto que su valor es del mismo orden al que se muestra en el *GRÁFICO 3.4*.

GRÁFICO 3.4. Coeficiente de pérdida de carga en función del ángulo del difusor y de la relación de áreas.





Finalmente, las pérdidas de carga en el difusor 1 serían:

$$\Delta P_{d1} = \frac{(\zeta_f + \zeta_{un} + \zeta_{non})\rho V_e^2}{2} = \frac{(0.014719 + 0.008636 + 0.054752)1.18697 \cdot 40^2}{2} \\ = 74.17 \text{ Pa}$$

Con motivo de examinar la veracidad de esta pérdida de carga hay que destacar que tal y como se apuntó anteriormente, las pérdidas de carga en un difusor son de dos a tres veces mayores que las pérdidas de carga producidas en un conducto recto, sin embargo, las pérdidas en este difusor son algo menos de dos veces las producidas en la cámara de ensayos, el motivo por el que no es mayor es porque las longitudes no son iguales, pero en el caso de ser iguales cabe esperar que los resultados serían los esperados.

3.3.2 Difusor 2

Procediendo de la misma forma que en el caso anterior, se obtiene, que para $\lambda = 0.009449$ (GRÁFICO 3.1), $n_{d2} = 2.59$, $\alpha = 5^\circ$, $Re = 6737437$, $s' = 0.96037$, $t' = 0.715485$, $u = 5.227548 \cdot 10^{-8}$ y $\bar{l}_0 = 0.314465$.

$$\zeta_f = \left(1 - \frac{1}{n_{d2}^2}\right) \frac{\lambda}{8 \sin \alpha/2} = \left(1 - \frac{1}{2.591^2}\right) \frac{0.009449}{8 \sin 5/2} = 0.023044$$

$$\zeta_{un} = \phi \left(1 - \frac{1}{n_{d2}}\right)^m = 0.05 \left(1 - \frac{1}{2.591}\right)^{1.76} = 0.0211937$$

$$\zeta_{non} = 0.011057$$

$$\zeta_{d2} = 0.055294$$

$$\Delta P_{d2} = 20.92 \text{ Pa}$$



3.4 Pérdidas de carga en la contracción

Hay numerosos métodos para calcular las pérdidas de carga en la contracción. A continuación se presentan algunos de ellos:

1. Considerarla como un difusor

Para lo cual, el problema se resolvería aplicando las ecuaciones expuestas en el apartado 3.3, por lo que habría que resolver $\zeta_{c1} = \frac{\Delta P}{\rho V_e^2 / 2} = \zeta_f + \zeta_{un} + \zeta_{non}$.

2. Emplear los diagramas de Moody

Esta segunda forma de resolución está basada en un método gráfico, solo aplicable si se aceptan errores que pueden ser del 15%. El diagrama de Moody³³ se genera mediante la ecuación (3.22):

$$\frac{1}{K_{p.c.}^{1/2}} = -2 \log \left(\frac{\frac{\varepsilon}{d}}{3.7} + \frac{2.51}{Re \cdot K_{p.c.}^{1/2}} \right) \quad (3.22)$$

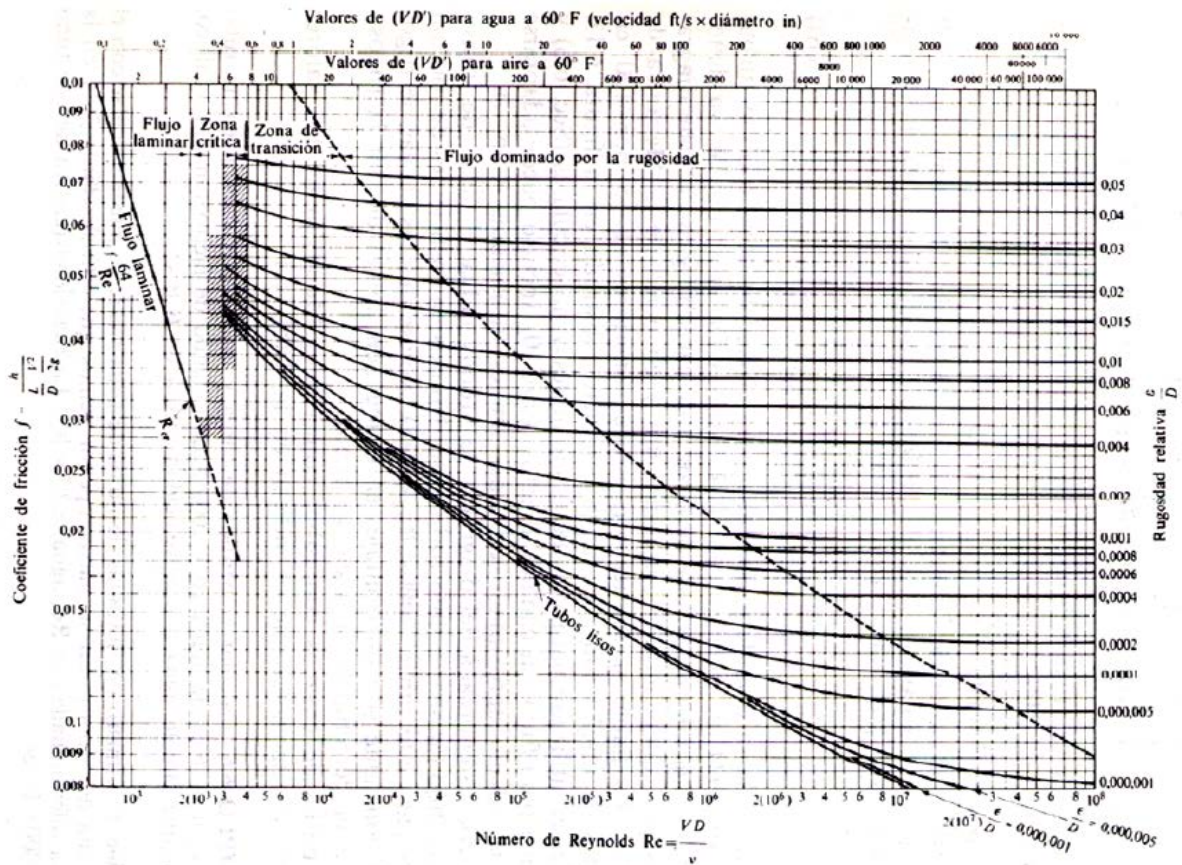
siendo ε/d la rugosidad de la pared, y $K_{p.c.}$ el coeficiente de pérdida de carga.

Una vez determinado $K_{p.c.}$, se calcula la pérdida de carga mediante la expresión (3.23)

$$\Delta P = \rho g f \frac{LV^2}{D_h 2g} \quad (3.23)$$



GRÁFICO 3.5. Diagrama de Moody³³.



3. Contracción formada por conductos de sección constante

Este método está basado en dividir nuestra contracción en secciones rectas constantes y aplicar las ecuaciones correspondientes a conductos rectos, los cuales están recogidos en el apartado 3.2. Para ello es necesario conocer el número de Reynolds en cada sección, así como la velocidad del flujo en cada una de ellas. De esta forma se obtendrán las pérdidas de carga para cada sección y la pérdida de carga de la contracción completa sería el sumatorio de las anteriores.

$$\Delta P_c = \sum_{i=1}^N \Delta P_i \quad (3.24)$$

Este método será el que se empleará para calcular las pérdidas de carga en la contracción.

4. Pérdidas de carga empleando en programa Fluent

El procedimiento consiste en generar la geometría de la contracción, posteriormente se malla mediante el programa *Gambit*, y finalmente se estudia el comportamiento del fluido en el interior de la estructura utilizando *Fluent*.

3.4.1 Contracción formada por conductos de sección constante

Se dividirá la contracción en 22 secciones de manera que cada una de ellas tenga una longitud de 0.56 metros. En los *GRÁFICOS 3.6* y *3.7* se muestran las divisiones en el plano *XY* y *XZ* respectivamente.

GRÁFICO 3.6. Contracción *XY* dividida en 22 secciones.

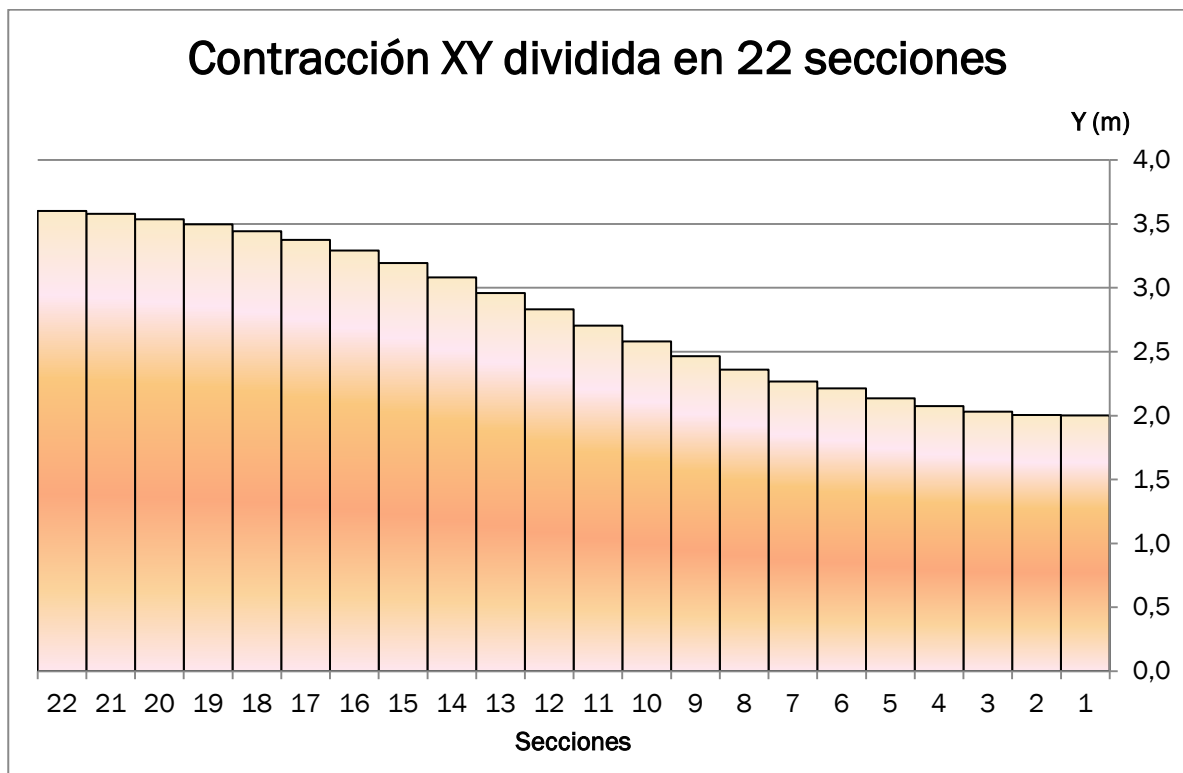
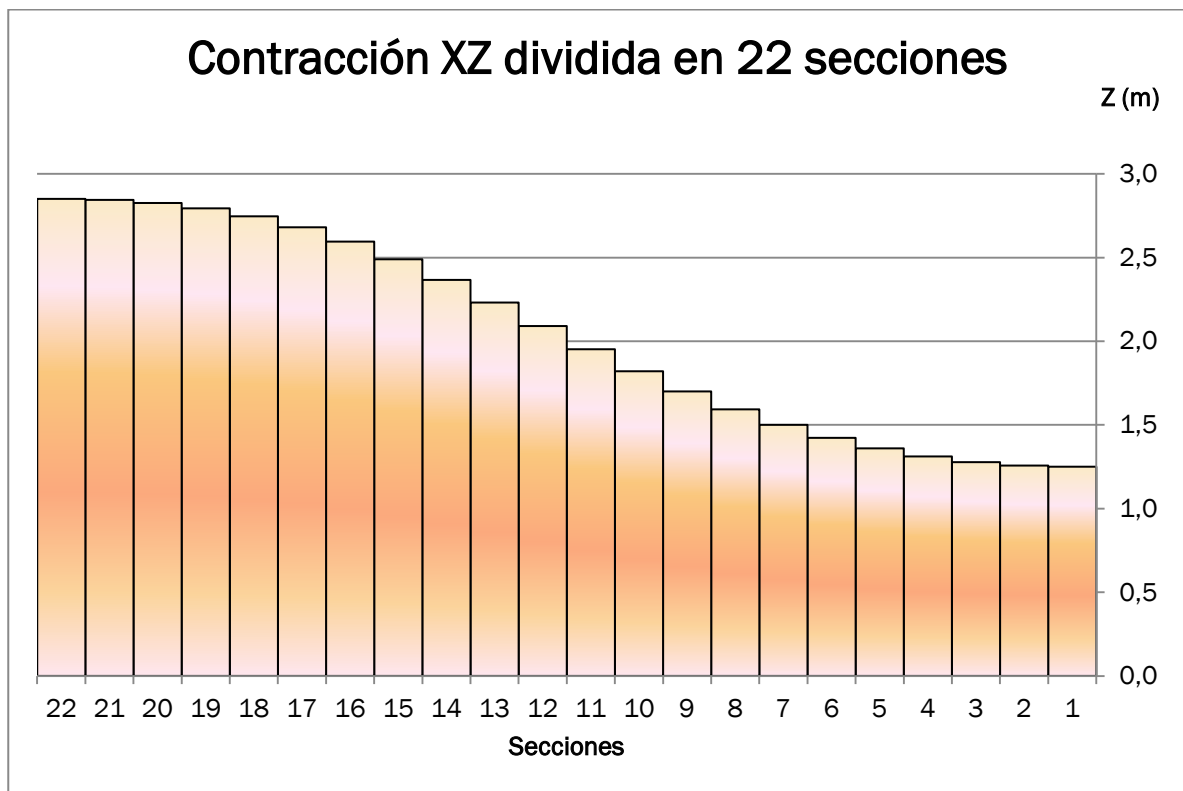




GRÁFICO 3.7. Contracción XZ dividida en 22 secciones.



Una vez dividida la contracción en secciones se calcula el área de cada sección, su velocidad, número de Reynolds y por último se calculan las pérdidas de carga en cada sección y se suman. A continuación se muestra una *TABLA 3.4* donde se especifican las principales características de cada sección.

**TABLA 3.4.** Configuración de las 22 secciones en las que se ha dividido la contracción.

Sección	X (m)	Y (m)	Z (m)	A (m ²)	D _h (m)	V (m/s)	Re
1	0.56	4.000	2.500	10.00	3.08	40.00	8396149
2	0.56	4.007	2.514	10.07	3.09	39.71	8369269
3	0.56	4.059	2.554	10.37	3.14	38.58	8251754
4	0.56	4.146	2.622	10.87	3.21	36.79	8062467
5	0.56	4.268	2.719	11.60	3.32	34.47	7810686
6	0.56	4.424	2.845	12.58	3.46	31.79	7508323
7	0.56	4.531	3.000	13.59	3.61	29.43	7246359
8	0.56	4.717	3.185	15.02	3.80	26.62	6906206
9	0.56	4.927	3.399	16.75	4.02	23.88	6554095
10	0.56	5.159	3.640	18.78	4.27	21.30	6202392
11	0.56	5.406	3.903	21.10	4.53	18.96	5862530
12	0.56	5.661	4.181	23.67	4.81	16.90	5545316
13	0.56	5.916	4.461	26.39	5.09	15.16	5259088
14	0.56	6.160	4.732	29.15	5.35	13.72	5010335
15	0.56	6.385	4.978	31.79	5.59	12.58	4802577
16	0.56	6.581	5.190	34.15	5.80	11.71	4636472
17	0.56	6.747	5.361	36.17	5.97	11.06	4507233
18	0.56	6.883	5.492	37.80	6.11	10.58	4410189
19	0.56	6.991	5.587	39.06	6.21	10.24	4338893
20	0.56	7.070	5.651	39.95	6.28	10.01	4290107
21	0.56	7.155	5.688	40.70	6.34	9.83	4249236
22	0.56	7.200	5.700	41.04	6.36	9.75	4230479

Una vez conocidas todas las características de cada sección se calculan las pérdidas de carga haciendo uso de las expresiones (3.8), (3.2) y de los *GRÁFICOS* y *TABLAS 3.1* y *3.2*, obtenemos las pérdidas de carga de cada sección *TABLA 3.5*.

**TABLA 3.5.** Coeficientes de fricción y pérdidas de carga parciales de la contracción.

Secciones	λ	$k_{contracción}$	$\lambda_{contracción}$	ΔP_i (Pa)
1	0.00854	1.18	0.01007	1.741
2	0.00854	1.17	0.01001	1.698
3	0.00856	1.16	0.00996	1.571
4	0.00859	1.16	0.00992	1.389
5	0.00863	1.15	0.00990	1.177
6	0.00868	1.14	0.00989	0.959
7	0.00872	1.13	0.00987	0.787
8	0.00878	1.12	0.00987	0.611
9	0.00885	1.12	0.00987	0.465
10	0.00892	1.11	0.00988	0.349
11	0.00900	1.10	0.00989	0.261
12	0.00907	1.09	0.00990	0.195
13	0.00914	1.08	0.00990	0.149
14	0.00921	1.07	0.00990	0.116
15	0.00927	1.07	0.00989	0.093
16	0.00932	1.06	0.00986	0.078
17	0.00936	1.05	0.00983	0.067
18	0.00939	1.04	0.00979	0.060
19	0.00941	1.03	0.00974	0.055
20	0.00943	1.03	0.00968	0.051
21	0.00944	1.02	0.00961	0.049
22	0.00945	1.01	0.00954	0.047

Por último se calcula la pérdida de presión total en la contracción (3.24):

$$\Delta P_{contracción} = \sum_{i=1}^{i=22} \Delta P_i = 11.97 \text{ Pa}$$



3.5 Pérdidas de carga en los codos

Cuando un fluido circula por el interior de un conducto, y dicho conducto tiene una curva, el fluido experimenta una fuerza centrífuga desde el centro de la curvatura que le empuja hacia la pared exterior. Esto origina un aumento de la presión en la pared exterior y una disminución de la presión en la interior. Por lo tanto la velocidad del flujo será mayor en la parte interior que en la exterior. De manera que en un codo, se producen los efectos de un difusor cerca de la pared exterior y cerca de la pared interior se producen los fenómenos de una tobera.

Las expresiones para calcular las pérdidas de carga dependerán del número de Reynolds en el que nos encontremos, así como la rugosidad de la pared.

Para el caso de paredes lisas, considerando que la rugosidad es nula ($\Delta = 0$) y $Re \geq 2 \cdot 10^5$, las expresiones serían las siguientes:

$$\zeta = \frac{\Delta P}{\rho V_0^2 / 2} = \zeta_{loc} + \zeta_{fr} \quad (3.25)$$

donde el coeficiente de fricción $\zeta_{fr} = \lambda(l/D_h)$ se puede expresar en términos del ángulo del codo, del radio, del diámetro hidráulico y del coeficiente de fricción, haciendo uso de la expresión (3.26).

$$\frac{l}{D_h} = \pi \frac{\delta^0}{180} \frac{R_0}{D_h} = 0.0175 \frac{R_0}{D_h} \delta^0 \quad (3.26)$$

de manera que el coeficiente de fricción y el local, vendrían determinados por las expresiones (3.27) y (3.28), respectivamente.

$$\zeta_{fr} = 0.0175 \frac{R_0}{D_h} \delta^0 \lambda \quad (3.27)$$

$$\zeta_{loc} = A_1 B_1 C_1 \quad (3.28)$$

donde ζ_{loc} es el coeficiente de resistencia local de la curva, ζ_{fr} es el coeficiente de fricción, λ es el coeficiente de fricción, R_0 es el radio del codo, D_h es el diámetro hidráulico, δ^0 es el ángulo del codo y los valores de A_1 , B_1 y C_1 se pueden obtener



gráficamente (*GRÁFICOS 3.8 y 3.9*) o bien se pueden calcular mediante las fórmulas que se muestran a continuación.

Para el caso de coeficiente A_1 su valor se puede determinar mediante los datos de Nekrasov³⁶:

$$\text{para } \delta^0 = 90^\circ \rightarrow A_1 = 1 \quad (3.29)$$

$$\text{para } \delta^0 < 70^\circ \rightarrow A_1 = 0.9 \sin \delta^\circ \quad (3.30)$$

$$\text{para } \delta^0 > 100^\circ \rightarrow A_1 = 0.7 + 0.35 \frac{\delta^\circ}{90} \quad (3.31)$$

El coeficiente B_1 se puede obtener mediante la siguiente aproximación:

$$\text{para } \frac{R_0}{b_0} < 1 \rightarrow B_1 = \frac{0.21}{(R_0/b_0)^{2.5}} \quad (3.32)$$

$$\text{para } \frac{R_0}{b_0} \geq 1 \rightarrow B_1 = \frac{0.21}{(R_0/b_0)^{1/2}} \quad (3.33)$$

siendo b_0 la base del codo.

Por último C_1 :

$$\text{para } \frac{h_0}{b_0} < 4 \rightarrow C_1 = 0.85 + \frac{0.125}{h_0/b_0} \quad (3.34)$$

$$\text{para } \frac{h_0}{b_0} \geq 4 \rightarrow C_1 = 1.115 - \frac{0.84}{h_0/b_0} \quad (3.35)$$

donde h_0 es la altura del codo.

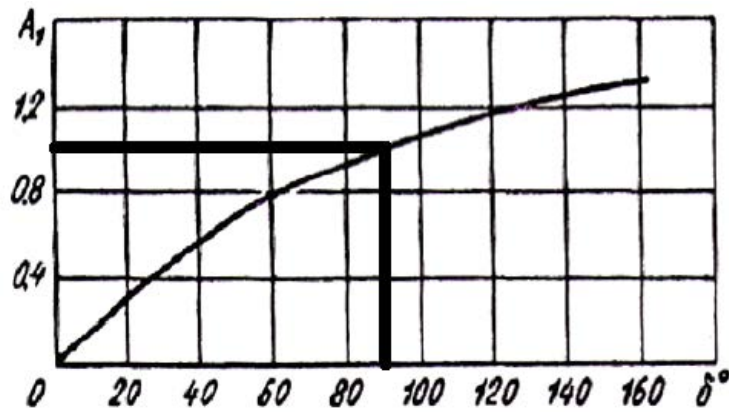
Por otra parte a estas pérdidas, se deberán añadir la de los vanos, la cual se estudia a continuación.



3.5.1 Pérdidas de carga sin vanos

El coeficiente A_1 es igual a 1 para todos los codos porque son de 90° . Para comprobar el resultado lo consultamos en el *GRÁFICO 3.8*.

GRÁFICO 3.8. Coeficiente A_1 en función del ángulo del codo.



Posteriormente se calcula el coeficiente B_1 , para ello evaluamos el valor de R_0/b_0 . Para los codos 1 y 4 es 0.639 y para los codos 2 y 3 es 0.708, de manera que para ambos casos $R_0/b_0 < 1$ y por ello se utiliza la expresión (3.32) y para calcular el coeficiente C_1 se evalúa el cociente h_0/b_0 cuyo resultado es 0.7917 para los codos 1 y 4, y 0.6875 para los codos 2 y 3, por ello se emplea la expresión (3.34). Los resultados son los que se muestran en la *TABLA 3.6*.

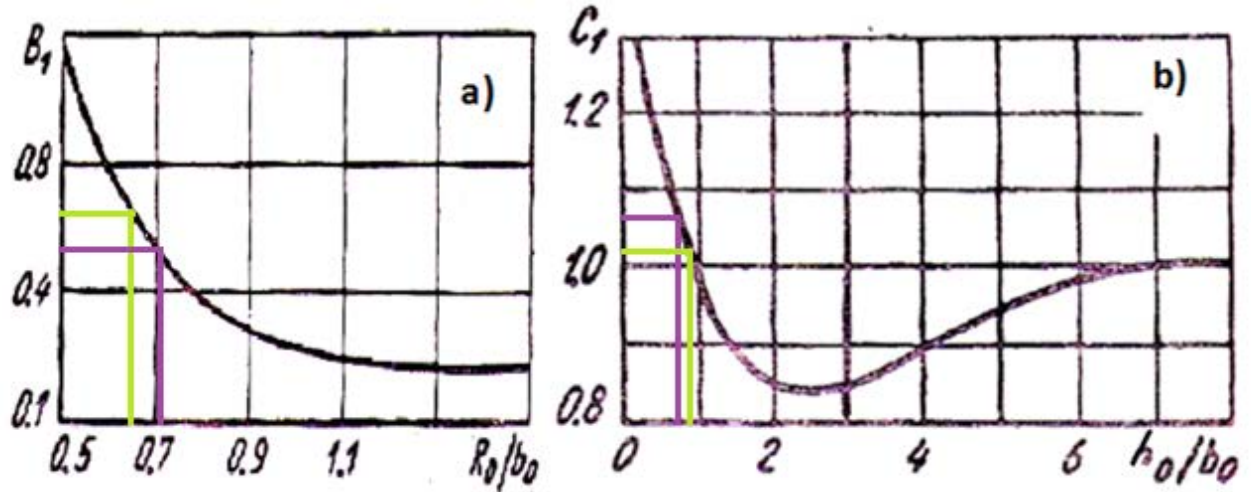
TABLA 3.6. Coeficientes A_1 , B_1 y C_1 necesarios para calcular el coeficiente de pérdida local en los codos.

	Codo 1	Codo 2	Codo 3	Codo 4
R_0/b_0	0.64	0.71	0.71	0.64
h_0/b_0	0.79	0.69	0.69	0.79
A_1	1	1	1	1
B_1	0.6437	0.4973	0.4973	0.6437
C_1	1.0079	1.0318	1.0318	1.0079
ζ_{loc}	0.648741	0.513131	0.513131	0.648741



En el GRÁFICO 3.9. *a* y *b* podemos contrastar los resultados.

GRÁFICO 3.9. Coeficientes B_1 y C_1 . Línea verde, codos 1 y 4. Línea morada, codos 2 y 3.



A continuación se calcula el coeficiente de pérdida por fricción (TABLA 3.7):

TABLA 3.7. Coeficiente de fricción de los codos del túnel aerodinámico.

	Codo 1	Codo 2	Codo 3	Codo 4
V (m/s)	9.75	25.25	25.25	9.75
Re	4230490.96	6737448.56	6737448.56	4230490.96
λ	0.009449	0.008814	0.008814	0.009449
k_o	1.02	1.02	1.02	1.02
λ_o	0.009638	0.008991	0.008991	0.009638
ζ_{fr}	0.010974	0.012310	0.012310	0.010974

Por último, empleando la expresión (3.25), se obtiene que para el codo 1 y 4, las pérdidas de carga son $\Delta P = 37.19 \text{ Pa}$ y las pérdidas para los codos 2 y 3 son $\Delta P = 198.86 \text{ Pa}$.



3.5.2 Pérdidas de carga con vanos

Con la colocación de los vanos correspondientes, los resultados se verían modificados ostensiblemente.

Mediante el uso de las expresiones (3.36), (3.37) y (3.38), y utilizando los valores del *GRÁFICO 3.10* se obtienen los valores representados en la *TABLA 3.8*.

$$(\zeta_v)_{loc} = \left(0.46 \frac{R_0}{b_0} + 0.04\right) \zeta_{codo} \quad (3.36)$$

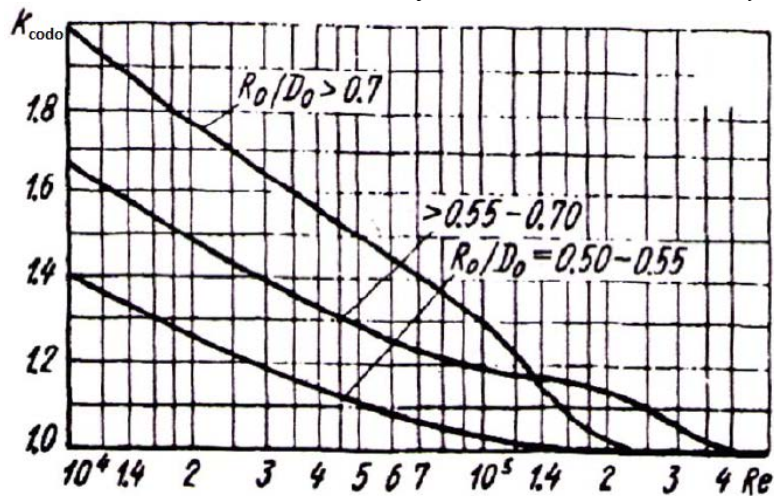
$$(\zeta_v)_{fr} = 1.57 \cdot \lambda \cdot \frac{R_0}{b_0} \quad (3.37)$$

$$\Delta P = [k_{codo}(\zeta_v)_{loc} + (\zeta_v)_{fr}] \frac{\rho V^2}{2} \quad (3.38)$$

TABLA 3.8. Valores de las pérdidas de carga en los codos con vanos.

	Codo 1	Codo 2	Codo 3	Codo 4
ζ_{loc}	0.2203	0.1922	0.1922	0.2203
ζ_{fr}	0.0097	0.0100	0.0100	0.0097
ζ_{total}	0.229939	0.202222	0.202222	0.229939
ΔP (Pa)	12.96	76.53	76.53	12.96

GRÁFICO 3.10. Valores de k_{codo} en función del número de Reynolds.





Como ya se apuntó en capítulos anteriores, la misión de los vanos es fundamental, puesto que con su instalación, se ha conseguido reducir las pérdidas de los codos 1 y 4 en un 65%, mientras que las de los codos 2 y 3 se han visto reducidas en un 62%.

3.6 Pérdidas de carga en los dispositivos reductores de turbulencia

3.6.1 Pérdidas de carga en los paneles *honeycombs*

El parámetro fundamental para el cálculo de las pérdidas de carga en estos elementos es como vimos en el capítulo anterior la porosidad. Además será necesario conocer el diámetro hidráulico del panel, que viene determinado por la expresión (3.39).

$$D_h = \frac{4A_i}{\Pi_i} \quad (3.39)$$

donde A_i es el área de un orificio y Π_i es el perímetro de un orificio.

La expresión para el coeficiente de pérdida de carga es (3.40):

$$\zeta_{panel} = \frac{\Delta P}{\rho V_e^2 / 2} = \frac{\left[0.5(1 - \bar{f})^{0.75} + \tau(1 - \bar{f})^{1.375} + (1 - \bar{f})^2 + \lambda \frac{L_{panel}}{D_h} \right]}{\bar{f}^2} \quad (3.40)$$

siendo τ un coeficiente que se determina mediante la fórmula (3.41), (3.42) y (3.43).

$$\tau = (2.4 - \bar{L})^{\varphi'} \quad (3.41)$$

$$\varphi'(\bar{L}) = 0.25 + \frac{0.535\bar{L}^8}{(0.05 + \bar{L}^7)} \quad (3.42)$$

$$\bar{L} = \frac{L_{panel}}{D_h} \quad (3.43)$$

Una vez conocidas las ecuaciones, las aplicaremos para tres casos distintos (FIGURA 3.2), un panel de elementos cuadrados, otro de elementos circulares y otro de elementos hexagonales. El punto en común entre ellos es que tienen que ser válidos para el túnel, por lo que sus dimensiones exteriores deben ser de 5.66x7.16 m² para poder introducirlos en la cámara de tranquilización, y la otra característica que tienen en común es que el área de cada elemento es de 400 cm² y la separación mínima entre orificios es de 2 mm. Los cálculos se realizarán para varias longitudes.

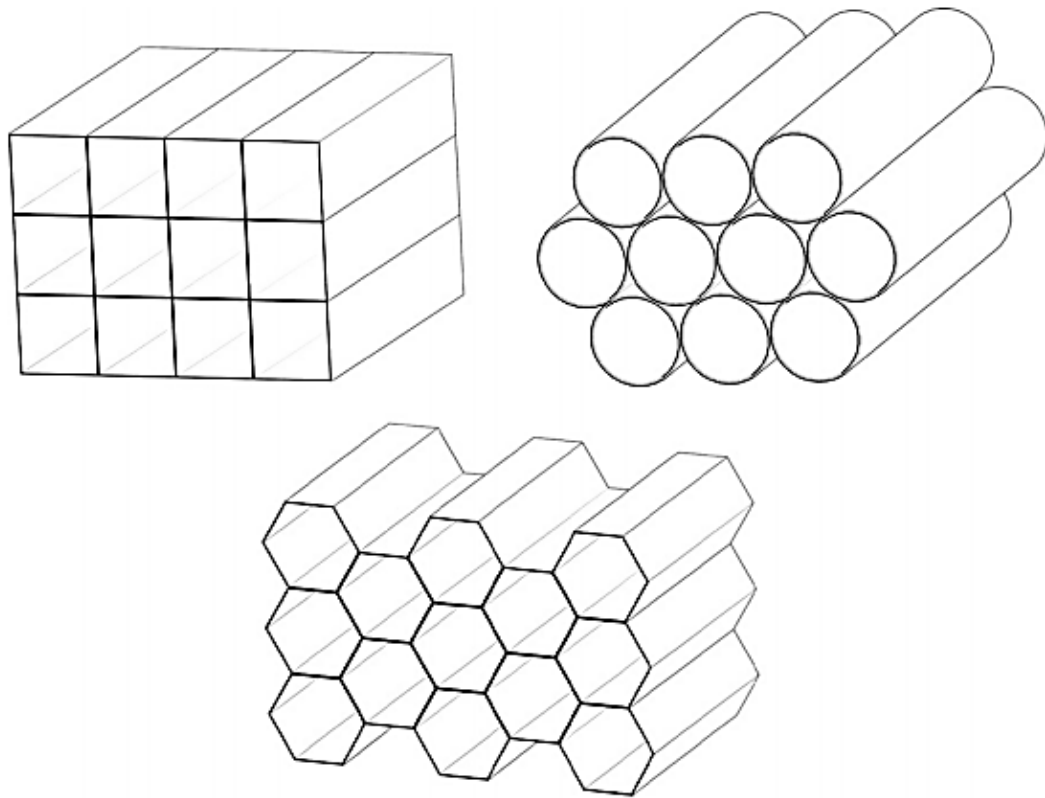


FIGURA 3.2. Esquema de varios tipos de honeycombs: cuadrados, circulares y hexagonales.



➤ CASO 1: Elementos cuadrados (TABLA 3.9.)

TABLA 3.9. Pérdidas de carga para el caso de un honeycomb con matriz de elementos cuadrados.

L (m)	0.8	1	1.2	1.4	1.6
Ai (m ²)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Πi (m)	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
Dh	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
\bar{L}	4000	5000	6000	7000	8000
\bar{f}	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
τ	0	0	0	0	0
ϕ'	2390	2925	3460	3995	4530
Re	144374	144374	144374	144374	144374
λ	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171
ζ	0.163425	0.183197	0.202969	0.222740	0.242512
ΔP (Pa)	9.22	10.34	11.45	12.57	13.68

➤ CASO 2: Elementos circulares (TABLA 3.10)

TABLA 3.10. Pérdidas de carga para el caso de un honeycomb con matriz de elementos circulares.

L (m)	0.8	1	1.2	1.4	1.6
Ai (m ²)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Πi (m)	0.704	0.704	0.704	0.704	0.704
Dh	0.227	0.227	0.227	0.227	0.227
\bar{L}	3519	4398	5278	6158	7037
\bar{f}	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
τ	0	0	0	0	0
ϕ'	2132	2603	3074	3544	4015
Re	181738	181738	181738	181738	181738
λ	0.01632	0.01632	0.01632	0.01632	0.01632
ζ	0.296947	0.317297	0.337647	0.357997	0.378346
ΔP (Pa)	16.75	17.90	19.05	20.20	21.35



➤ CASO 3: Elementos hexagonales (TABLA 3.11)

TABLA 3.11. Pérdidas de carga para el caso de un honeycomb con de elementos hexagonales.

L (m)	0.8	1	1.2	1.4	1.6
A_i (m ²)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Π_i (m)	0.744	0.744	0.744	0.744	0.744
Dh	0.215	0.215	0.215	0.215	0.215
\bar{L}	3720	4650	5580	6510	7440
\bar{f}	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
τ	0	0	0	0	0
ϕ'	2240	2738	3235	3733	4230
Re	158597	158597	158597	158597	158597
λ	0.01678	0.01678	0.01678	0.01678	0.01678
ζ	0.184359	0.203200	0.222041	0.240882	0.259723
ΔP (Pa)	10.40	11.46	12.53	13.59	14.65

Desde el punto de vista de las pérdidas de carga como era de esperar, cuanto mayor es la porosidad, menores son las pérdidas, por lo que en el túnel de estudio se podrán emplear los *honeycombs* de elementos cuadrados, o bien, los de elementos hexagonales ya que las pérdidas en ambos son muy similares. Sin embargo, desde el punto de vista de los costes, es de esperar que sea más económico el panel de elementos cuadrados por su mayor facilidad en el proceso de fabricación. Por lo que éstos serán los elegidos.

3.6.2 Pérdidas de carga en las rejillas

Las rejillas pueden ser de dos tipos, uno de ellos es con hilos entrelazados y otro es en dos planos (FIGURA 3.3). Se calcularán las pérdidas de carga para ambos casos.

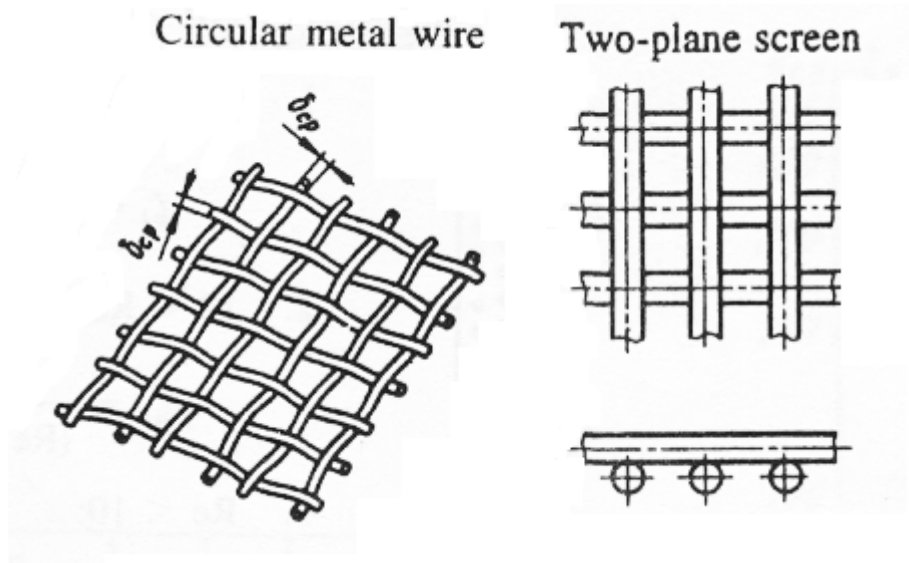


FIGURA 3.3. *Rejillas entrecruzadas y en dos planos.*

Para el caso de emplear alambres entrelazados y para un número de Reynolds superior o igual a 10^3 , el coeficiente de pérdida de carga responde a la ecuación (3.44).

$$\zeta_{rejillas} = \frac{\Delta P}{\rho V_e^2 / 2} = 1.3(1 - \bar{f}) + \left(\frac{1}{\bar{f}} - 1 \right)^2 \quad (3.44)$$

En el caso de emplear rejillas en dos planos, el coeficiente de pérdida de carga sigue la ecuación (3.45).

$$\zeta_{rejillas} = \frac{\Delta P}{\rho V_e^2 / 2} = 1.28 \frac{1 - \bar{f}}{\bar{f}^2} \quad (3.45)$$

A continuación se muestran dos *GRÁFICOS 3.11* y *3.12* donde se comparan los resultados entre ambas rejillas.



GRÁFICO 3.11. Comparación del coeficiente de pérdida entre los dos tipos de rejillas.

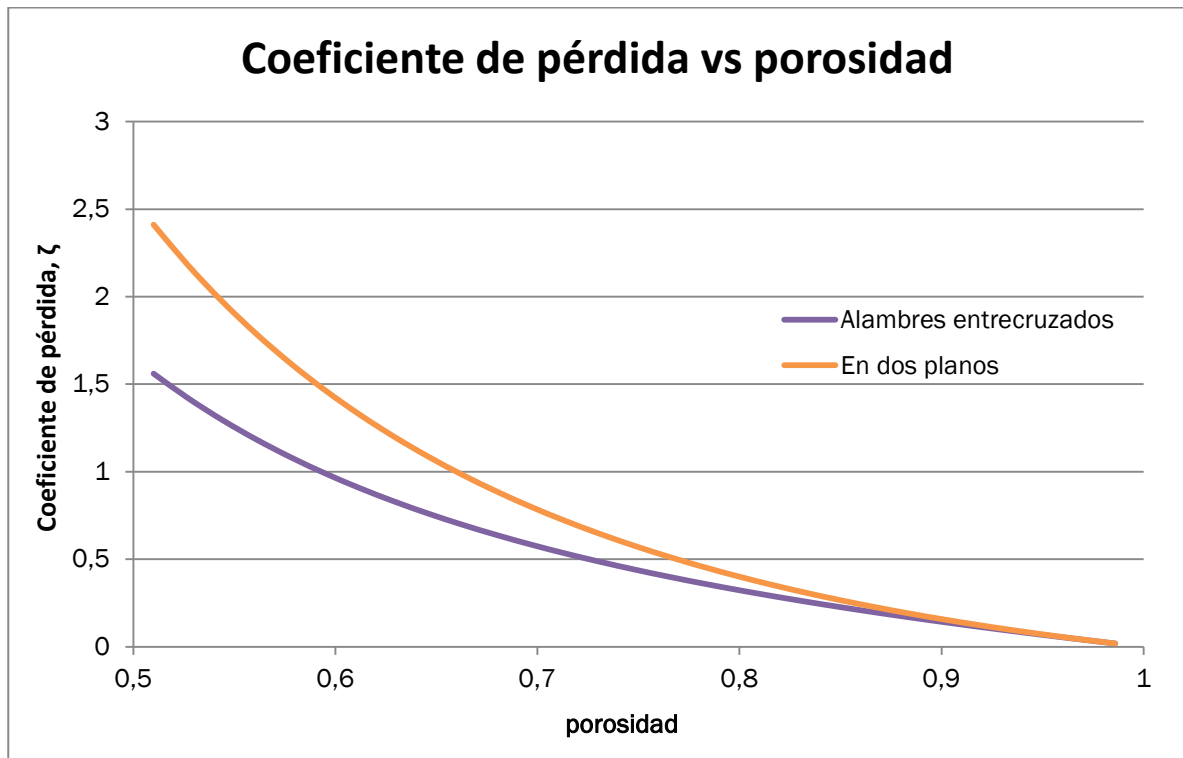
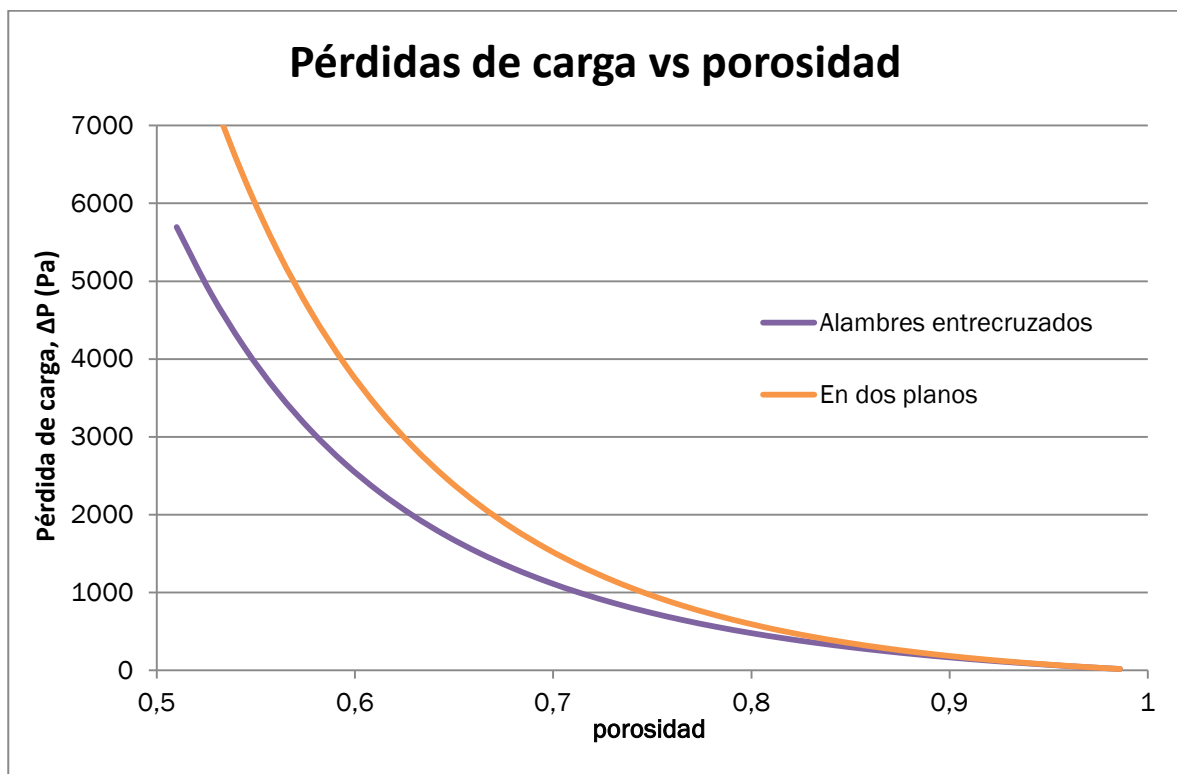


GRÁFICO 3.12. Comparación de la pérdida de carga entre los dos tipos de rejillas.





A la vista de los gráficos se deduce que a igualdad de condiciones es preferible una rejilla formada por alambres entrecruzados. No obstante, para valores de la porosidad superiores a 0.9 las diferencias son inapreciables. Por lo tanto se escogerá la rejilla más económica si se dan esas condiciones.

Finalmente como la rejilla que se empleará tendrá una porosidad de 0.95, la pérdida de carga para una disposición de alambres entrecruzados es de $\Delta P = 68.04 Pa$.

3.7 Pérdidas de carga en los conductos de adaptación

Para calcular las pérdidas de carga en los conductos de adaptación, hay que recurrir a las expresiones y tablas contenidas en el apartado 3.2 el motivo de utilizar estas expresiones es que los conductos de adaptación, al igual que la cámara de ensayos, son conductos de sección constante. Los resultados para cada conducto se presentan en la siguiente tabla (*TABLA 3.12*):

TABLA 3.12. *Pérdidas de carga en los conductos (cond.) de adaptación.*

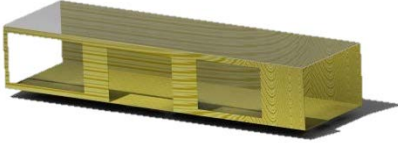

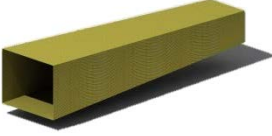
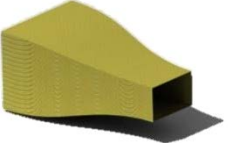
	Cond. 1	Cond. 2	Cond. 3	Cond. 4	Cond. 5	Cond. 6
$b \text{ (m)}$	7.2	4.8	4.8	4.8	7.2	7.2
$h \text{ (m)}$	5.7	3.3	3.3	3.3	5.7	5.7
$A \text{ (m}^2\text{)}$	41.04	15.84	15.84	15.84	41.04	41.04
$L \text{ (m)}$	2	2	10.4	2	2	8
$D_h \text{ (m)}$	6.36	3.91	3.91	3.91	6.36	6.36
$V \text{ (m/s)}$	9.75	25.25	25.25	25.25	9.75	9.75
Re	4230484	6737437	6737437	6737437	4230484	4230484
λ	0.009449	0.008814	0.008814	0.008814	0.009449	0.009449
$k_{cond.}$	1.01	1.015	1.015	1.015	1.01	1.01
$\lambda_{cond.}$	0.009543	0.008947	0.008947	0.008947	0.009543	0.009543
$\Delta P \text{ (Pa)}$	0.17	1.73	9.00	1.73	0.17	0.68



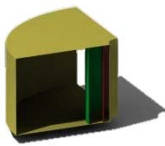
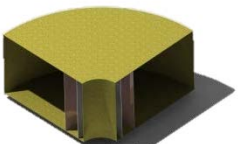
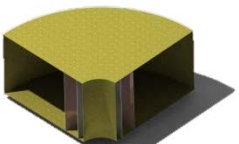
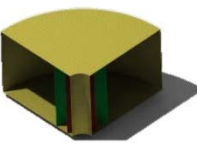
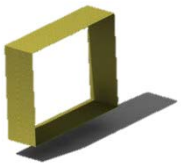
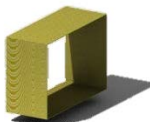

3.8 Pérdidas de carga totales

Para concluir este capítulo se ha realizado una recopilación (*TABLA 3.13*) de las pérdidas de carga de cada elemento y de la pérdida de carga total del túnel aerodinámico. Además en el *GRÁFICO 3.13* se presenta un diagrama circular donde se recoge la aportación de cada elemento al conjunto. Con el fin de indentificar mejor el elemento al que se refiere, se han numerado previamente.

TABLA 3.13. Pérdida de carga de cada elemento y del conjunto.

Elemento	Geometría	Pérdida de carga (Pa)
Cámara de ensayos (1)		37.62
Difusor 1 (2)		74.17
Difusor 2 (3)		20.92
Contracción (4)		11.97



Codo 1 (5)		12.96
Codo 2 (6)		76.53
Codo 3 (7)		76.53
Codo 4 (8)		12.96
Conducto 1 (9)		0.17
Conducto 2 (10)		1.73
Conducto 3 (11)		9.00



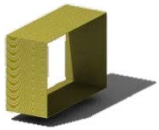
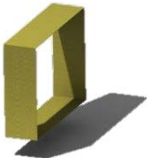
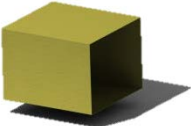

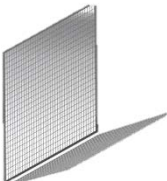
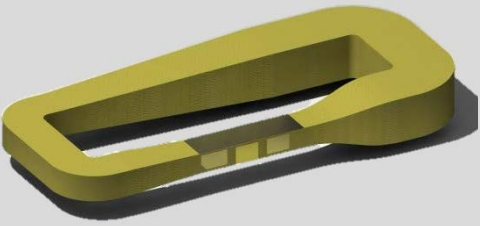
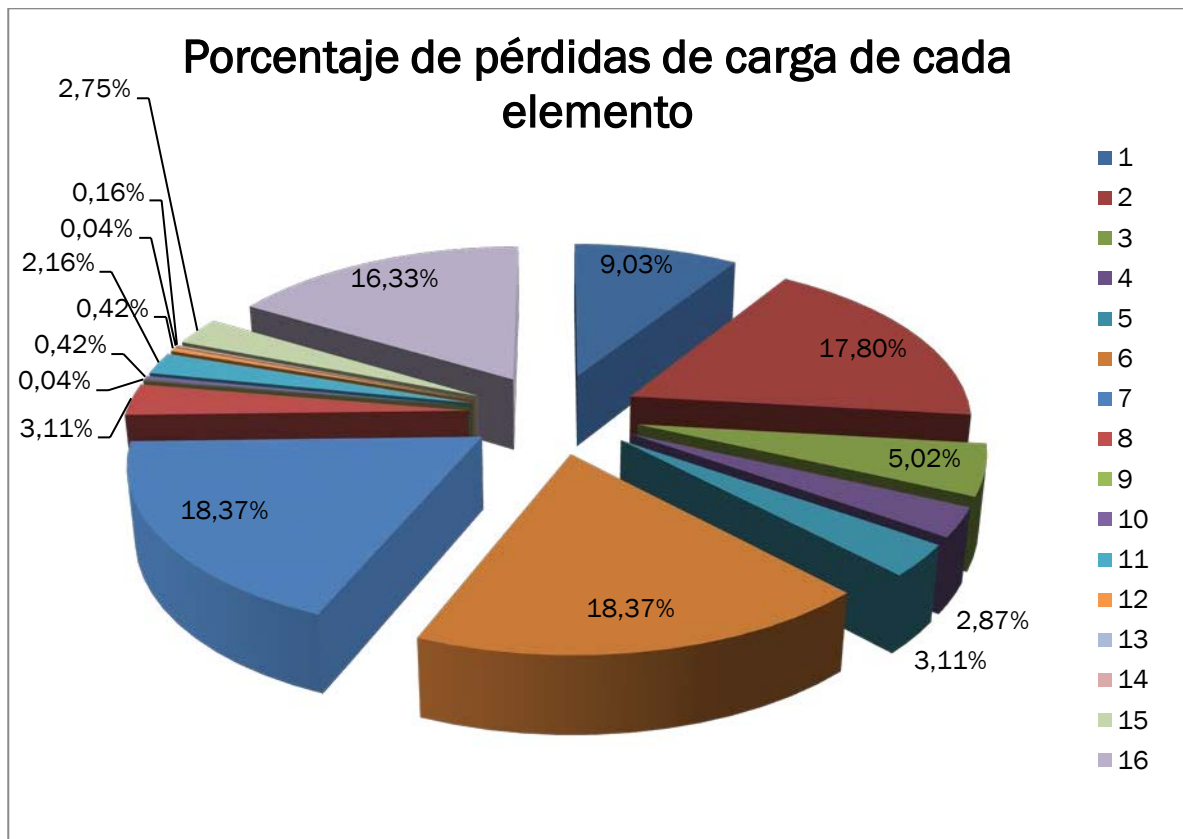
Conducto 4 (12)		1.73
Conducto 5 (13)		0.17
Conducto 6 y de los ventiladores (14)		0.68 x 2
Honeycomb (15)		11.45
Rejilla (16)		68.04
Túnel Aerodinámico		416.63

GRÁFICO 3.13. *Porcentaje de pérdidas de carga de cada elemento del túnel aerodinámico.*



A la vista del gráfico, se puede concluir que como ya se esperaba los dos 2 y 3 generan unas pérdidas de carga muy superiores a las de los codos 1 y 4 como consecuencia de la mayor velocidad del flujo. Lo mismo sucede con los difusores 1 y 2, ya que a pesar de que el difusor 2 es de un tamaño mayor las pérdidas de carga en el difusor 1 son el cuádruple como consecuencia de la velocidad. Otro hecho que resulta interesante es que la pérdida de carga generada por la rejilla en comparación por la generada por el *honeycomb* son seis veces superiores, por ello, a pesar del trabajo añadido que supone tener acceso a la cámara de tranquilización donde se encuentra el *honeycomb*, es mucho más rentable que si se hubiera colocado a la entrada de la cámara de ensayos.



(Página intencionadamente en blanco)



4. SISTEMA DE POTENCIA E ILUMINACIÓN



(Página intencionadamente en blanco)



4 SISTEMA DE POTENCIA E ILUMINACIÓN

4.1 Sistema de potencia

4.1.1 Introducción

Una vez estudiadas las pérdidas de carga del túnel aerodinámico le toca el turno a la planta de potencia. Esta estará alojada después del difusor 2 para garantizar que la velocidad de entrada a los ventiladores es la menor posible. La planta de potencia estará formada por tres elementos fundamentales:

- Ventilador o matriz de ventiladores.
- Motor o motores eléctricos.
- Sistema de regulación de potencia.

Para elegir el sistema de potencia se puede acudir a algún fabricante o bien, se puede diseñar el ventilador o ventiladores y fabricarlos. Se optará por lo primero por varias razones, la primera es que los costes del ventilador serán muy superiores porque los ventiladores que tienen los proveedores se fabrican en grandes cantidades, de manera que los costes variables son menores, esto permite que desde el punto de vista económico sean más rentables. Por otra parte, los repuestos son otro problema a tener en cuenta ya que de romperse algún elemento habría que construirlo específicamente y el precio también sería mayor. Además, otra de las ventajas de comprar el sistema de potencia a un fabricante especializado es que el producto tendrá unas garantías y desde el punto de vista del tiempo, también se tardaría más en diseñar y construir nuestro propio ventilador o ventiladores.

4.1.2 Selección del ventilador

El ventilador o ventiladores tiene que alojarse en un espacio de 7.2 x 5.7, por lo que emplear un único ventilador es inviable ya que no se adaptaría bien al



espacio, además, otro de los inconvenientes de emplear un único ventilador es que en caso de sufrir alguna avería el túnel sería inutilizable hasta repararlo, sin embargo, si se emplea una matriz de ventiladores, en caso de sufrir alguna avería o rotura un ventilador se podría seguir utilizando el túnel y si fuera necesario reponerlo por otro sin que esto supusiera un coste demasiado elevado.

Una vez determinado que se empleará una matriz de ventiladores hay que elegir algún fabricante o fabricantes que tengan un producto que cumpla los requisitos necesarios. Se van a considerar dos tipos de fabricantes:

- *Airtècnics (Airtècnics Motors i Ventildors, S.L.)*. Ventiladores axiales de perfil estrecho.
- *Sodeca (Sodeca S.L.)*. Ventiladores helicoidales tubulares de medios y grandes caudales.

4.1.3 Requisitos

Los requisitos necesarios que habrá que exigirle a la planta de potencia serán que logre contrarrestar las pérdidas de carga, que consiga mover el caudal del túnel y que desarrolle la potencia necesaria. Puesto que la velocidad máxima será de 40 m/s, los requisitos serán:

- Pérdida de carga: $\Delta P = 416 \text{ Pa}$.
- Caudal: $Q = A \cdot V = 2.5\text{m} \cdot 4\text{m} \cdot 40 \text{ m/s} = 400 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Potencia: $N = Q \cdot \Delta P = 400 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 416 \text{ Pa} = 166652 \text{ W}$.

Se realizará el supuesto de que el caudal que atraviesa el túnel es igual a la suma de caudales que atraviesan los ventiladores (4.1), cumpliéndose el principio de superposición. Además se supondrá que el caudal que atraviesa cada ventilador es el mismo y que los ventiladores funcionan en el mismo régimen, por ello, el aumento de presión en cada uno de ellos será el mismo (4.2).



$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (4.1)$$

$$\Delta P = \Delta P_i \quad (4.2)$$

4.1.4 Teoría del diseño

El funcionamiento de cada ventilador queda determinado a través de tres parámetros: la densidad del aire (ρ), las revoluciones por minuto a las que gira el ventilador (n), y el diámetro del mismo (D).

Cualquier cambio en alguna de estas variables provoca como consecuencia cambios en otras variables como la presión o el caudal, a continuación se presentan las expresiones de cambio de estas variables:

$$Q' = Q \quad (4.3)$$

$$P' = \left(\frac{\rho'}{\rho}\right) P \quad (4.4)$$

$$N' = \left(\frac{\rho'}{\rho}\right) N \quad (4.5)$$

$$Q' = \left(\frac{n'}{n}\right) Q \quad (4.6)$$

$$P' = \left(\frac{n'}{n}\right)^2 P \quad (4.7)$$

$$N' = \left(\frac{n'}{n}\right)^3 N \quad (4.8)$$

$$Q' = \left(\frac{D'}{D}\right)^3 Q \quad (4.9)$$



$$P' = \left(\frac{D'}{D}\right)^2 P \quad (4.10)$$

$$N' = \left(\frac{D'}{D}\right)^5 N \quad (4.11)$$

4.1.5 Selección de la matriz de ventiladores

Como se ha mencionado anteriormente, se estudiará la posibilidad de comprar los ventiladores a dos empresas distintas, pero debido a la diferencia de precio que hay entre ambas solamente se ha considerado Sodeca S.L. por ser su coste de adquisición menor. A continuación se estudiarán tres modelos distintos de ventiladores para poder escoger la mejor solución de diseño.

➤ Ventiladores del grupo HGT

Ventiladores helicoidales tubulares, equipados con hélices de aluminio de 3, 6 o 9 álabes con diversos ángulos de inclinación.

Características de los ventiladores HGT

- Ventilador:
 - Dirección aire motor-hélice.
 - Hélices de paso variable en fundición de aluminio, es decir, se permite fijar el paso de las palas para obtener un rendimiento óptimo en un punto concreto de funcionamiento.
 - Envolverte tubular en chapa de acero.
- Motor:
 - Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55.
 - Trifásicos 230/400 V. -50 Hz (hasta 5.5 CV) y 400/690 V. -50 Hz (potencias superiores a 5.5 CV).
 - Temperatura de trabajo -25°C a +50°C.
- Acabado: anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190°C, previo desengrase alcalino y pre tratamiento libre de fosfatos.



FIGURA 4.1. Imagen de un ventilador HGT de Sodeca⁴⁵.

En la TABLA 4.1 se contemplan los parámetros de diseño de las distintas configuraciones posibles de matrices de ventiladores para el modelo HGT.

TABLA 4.1. Tabla con los parámetros de diseño de distintas configuraciones de matrices de ventiladores dependiendo del modelo de ventilador HGT con motor directo escogido.

Modelo	HGT-125		HGT-140		HGT-160	
Configuración	1 etapa	2 etapas	1 etapa	2 etapas	1 etapa	2 etapas
long. ventilador (mm)	1365	1365	1515	1515	1735	1735
long. entre ellos (mm)	60	60	60	60	65	65
distancia total (mm)	1425	1425	1575	1575	1800	1800
número vent. horizontal	5.05	5.05	4.57	4.57	4.00	4.00
número vent. vertical	4.00	4.00	3.62	3.62	3.17	3.17
Ventiladores	20	40	12	24	12	24
Sec. Vent. (m ²)	2.0	2.0	3.4	3.4	3.4	3.4
Q_i (m ³ /s)	19.79	9.90	33.33	16.67	33.33	16.67
Q_i (m ³ /h)	72000	3600	120000	60000	120000	60000
ΔP_i (Pa)	416.63	208.32	416.63	208.32	416.63	208.32
ΔP_i (mm H ₂ O)	42.50	21.25	42.50	21.25	42.50	21.25
N_i (W)	8245.80	2061.45	13887.67	3471.92	13887.67	3471.92



Una vez propuestas las diferentes configuraciones, hay que recurrir a las especificaciones técnicas para determinar cuáles son los ventiladores que cumplen los requisitos.

Selección de la matriz de ventiladores HGT

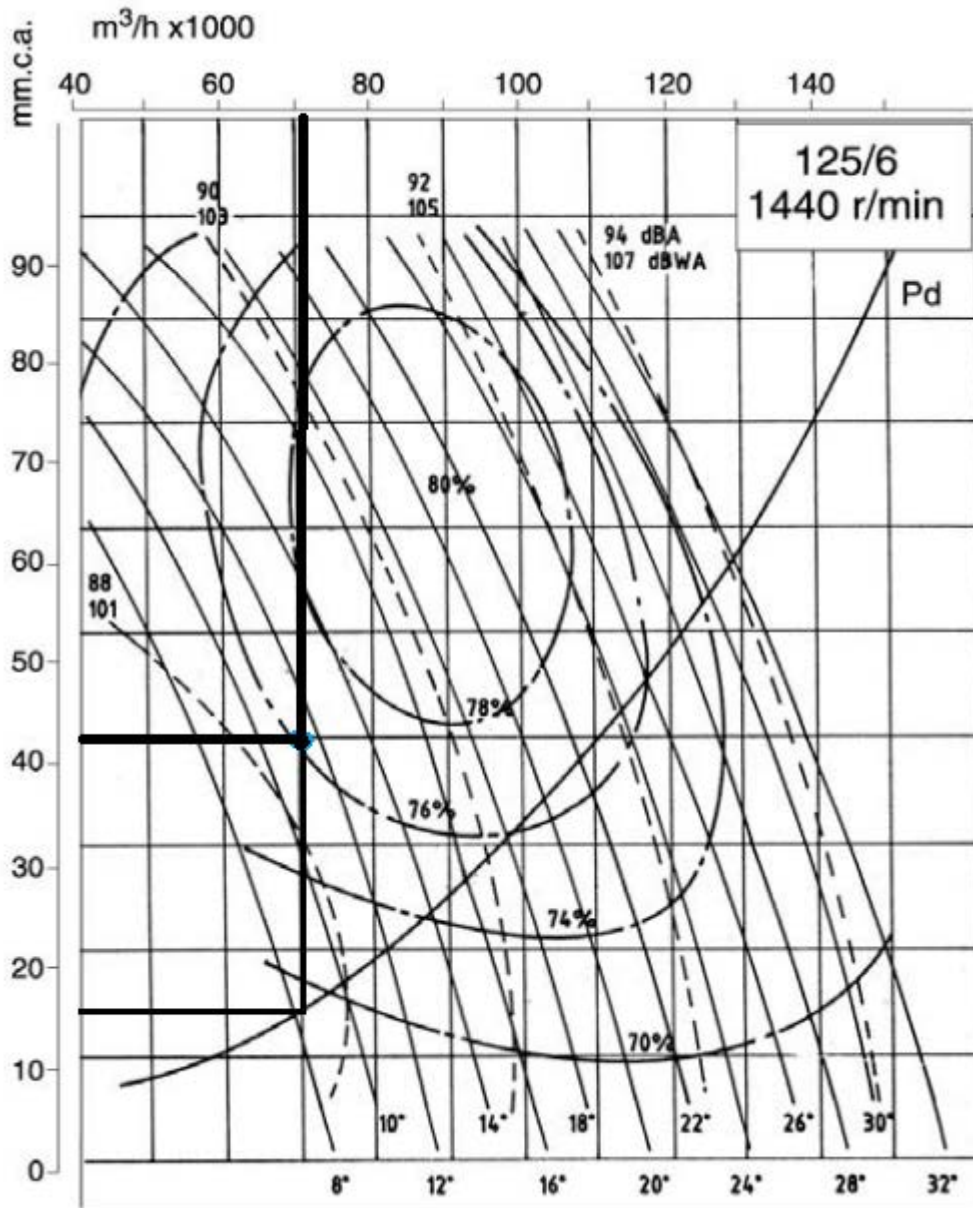
El procedimiento seguido para seleccionar la matriz de ventiladores ha sido el siguiente:

Se selecciona la gráfica de características de un ventilador, y nos situamos en el eje del caudal (eje horizontal superior) y en el eje de presión estática (eje vertical de la izquierda). El punto intersección entre ambas líneas nos muestra el ángulo de inclinación de los álabes del ventilador, la presión dinámica y el rendimiento.

En el caso particular de seleccionar el HGT-125/6, y para un $\Delta P_i = 42.5 \text{ mm H}_2\text{O}$ y un $Q = 71250 \text{ m}^3/\text{h}$, se obtiene (GRÁFICO 4.1):



GRÁFICO 4.1. Diagrama de las características técnicas del grupo de ventiladores HGT-125/6⁴⁵.



De manera que la presión dinámica sería $\Delta P_{dinámica} = 15 \text{ mm H}_2\text{O}$, el ángulo de ataque sería unos 11° y el rendimiento $\eta = 76\%$.

Este procedimiento se realiza para las dos configuraciones posibles (1 y 2 etapas), cumpliendo los requisitos de caudal y salto de presiones que se encuentran en la *TABLA 4.1*, los resultados obtenidos son los siguientes:



TABLA 4.2. Grupos de ventiladores HGT de Sodeca colocados en una etapa que cumplen con los requisitos.

HGT-125		HGT-140		HGT-160	
1 etapa	r.p.m.	1 etapa	r.p.m.	1 etapa	r.p.m.
125/3	1440	-	-	160/6	960
125/6	1440	-	-	160/9	960
125/9	1440	-	-	-	-
125/9	960	-	-	-	-

TABLA 4.3. Grupos de ventiladores HGT de Sodeca colocados en dos etapas que cumplen con los requisitos.

HGT-125		HGT-140		HGT-160	
2 etapas	r.p.m.	2 etapas	r.p.m.	2 etapas	r.p.m.
125/6	720	140/3	960	160/3	960
125/9	720	140/6	960	160/6	720
-	-	140/9	960	160/9	720
-	-	140/9	720	-	-

Llegados a este punto, se ha introducido otro criterio para poder reducir aún más el modelo de ventilador. Esta vez se ha optado por el ahorro económico, de manera que se ha desechado la opción de introducir dos etapas, y el resultado es el que se muestra en la *TABLA 4.4*.

TABLA 4.4. Modelos HGT de Sodeca capaces de aportar un caudal de $400 \text{ m}^3/\text{s}$.

	Modelo HGT	Velocidad (rpm)	$Q_{\text{máx}}$ (m ³ /h)
HGT-125/3	HGT-125-4T/3-15	1460	76500
	HGT-125-4T/3-20	1455	92100
	HGT-125-4T/3-25	1470	98500
	HGT-125-4T/3-30	1470	102600
	HGT-125-4T/3-40	1475	117000
	HGT-125-4T/3-50	1480	127500
	HGT-125-4T/3-60	1480	131500
	HGT-125-4T/6-20	1455	80500
	HGT-125-4T/6-25	1470	96300
	HGT-125-4T/6-30	1470	102000



HGT-125/6	HGT-125-4T/6-40	1475	117350
	HGT-125-4T/6-50	1480	130000
	HGT-125-4T/6-60	1480	136000
	HGT-125-4T/6-75	1480	149500
	HGT-125-4T/6-100	1480	155000
HGT-125/9	HGT-125-4T/9-30	1470	74000
	HGT-125-4T/9-40	1475	92000
	HGT-125-4T/9-50	1480	109000
	HGT-125-4T/9-60	1480	117000
	HGT-125-4T/9-75	1480	135000
	HGT-125-4T/9-100	1480	163000
	HGT-125-6T/9-20	970	86500
	HGT-125-6T/9-25	985	96500
HGT-160/6	HGT-160-6T/9-30	980	109500
	HGT-160-6T/6-25	985	120000
	HGT-160-6T/6-30	980	136000
	HGT-160-6T/6-40	985	158000
HGT-160/9	HGT-160-6T/6-50	985	174000
	HGT-160-6T/9-30	980	130000
	HGT-160-6T/9-40	985	150000
	HGT-160-6T/9-50	985	158000
	HGT-160-6T/9-60	985	174000
	HGT-160-6T/9-75	990	190000
	HGT-160-6T/9-100	990	202000

A continuación se han realizado otros dos criterios, uno para determinar cuál era capaz de suministrar un incremento de presión adecuado y otro criterio económico para determinar cuál es el más asequible dentro de cada grupo, y el resultado ha sido el de la *TABLA 4.5*.

TABLA 4.5. Precio unitario y total de los ventiladores que cumplen todos los criterios de selección expuestos con anterioridad.

Modelo HGT	Precio unitario (€)	Precio total (€)
HGT-125-4T/3-30	4306.70 €	86134.00 €
HGT-125-4T/6-25	4245.30 €	84906.00 €
HGT-125-4T/9-30	5558.50 €	111170.00 €
HGT-160-6T/6-25	8153.70 €	97844.40 €
HGT-160-6T/6-25	8984.00 €	107808.00 €



A la vista de estos resultados, el más económico corresponde al modelo HGT-125-4T/6-25, cuyo rendimiento es del 77%.

Una vez elegido el ventilador más apropiado y los valores de los parámetros correspondientes se introducen en la expresión (4.12) para obtener la potencia mecánica necesaria absorbida por la hélice.

$$N_{hélice} = \frac{Q \cdot (P_d + P_e)}{3670 \cdot \eta \cdot 0.736} \quad (4.12)$$

donde P_d y P_e son las presiones obtenidas en los gráficos de los catálogos en mm H₂O, η en % es el rendimiento de la hélice, $N_{hélice}$ en CV y Q en m³/h.

$$N_{HGT125.4T/6.25} = \frac{72000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot (15.0 \text{ mmH}_2\text{O} + 42.5 \text{ mmH}_2\text{O})}{3670 \cdot 77 \cdot 0.736} = 19.9 \text{ CV}$$

Por otra parte hay que tener en cuenta las recomendaciones del fabricante, el cual recomienda aplicar un 10% de margen de seguridad en la potencia absorbida por la hélice, para calcular la potencia necesaria del motor.

$$N_{motor} = N_{HGT125.4T/6.25} \cdot 1.10 = 21.9 \text{ CV}$$

Además, otra de las condiciones a tener en cuenta es la densidad en la que se desenvolverán los ventiladores, y si esa densidad es la misma en la que se desarrollaron los ensayos del fabricante, puesto que los ensayos fueron realizados para $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$, habrá que aplicar las ecuaciones (4.4) y (4.5) para realizar los cambios oportunos. No obstante, la densidad a la que estará el túnel es $\rho = 1.18697 \text{ kg/m}^3$, que es aproximadamente la densidad a la que se realizaron los ensayos, por lo tanto, es de esperar que los resultados varíen muy poco.

TABLA 4.6. Resultados y desarrollos de la potencia necesaria del motor para HGT-125-4T/6-25.

	$P(\text{kg/m}^3)$	$Q \text{ (m}^3/\text{h)}$	$Pe \text{ (mmH}_2\text{O)}$	$N_{motor} \text{ (CV)}$
Ensayo	1.2	1440000	42.5	21.9
Diseño	1.18697	1440000	42.04	21.66

A la vista de los resultados de la *TABLA 4.6* se puede concluir que la potencia necesaria a la que se ajusta el motor es 22 CV.

Características geométricas del ventilador HGT-125-4T/6-14°-25

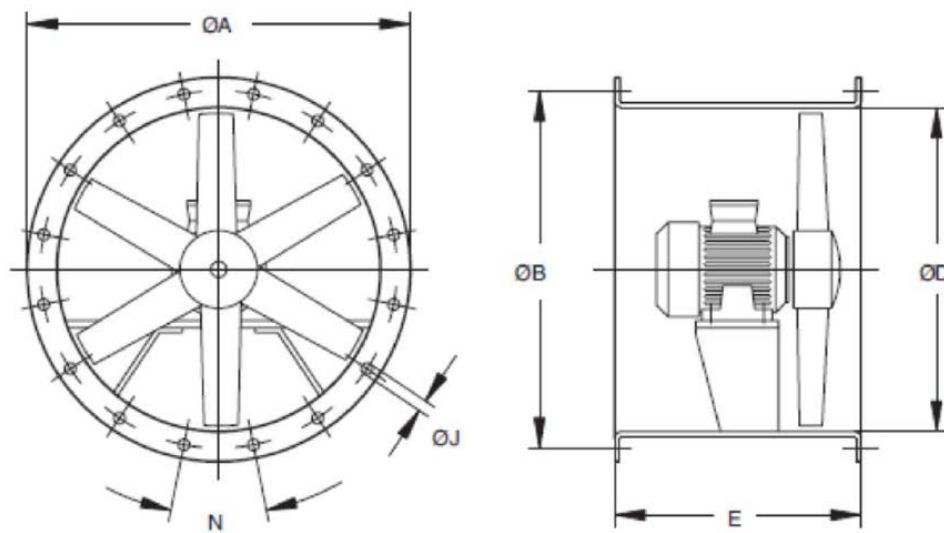


FIGURA 4.2. Geometría del ventilador HGT -125-4T/6-14°-25⁴⁵.

TABLA 4.7. Dimensiones del ventilador HGT -125-4T/6-14°-25.

Dimensiones	<i>A (mm)</i>	<i>B (mm)</i>	<i>C (mm)</i>	<i>D (mm)</i>	<i>J (mm)</i>	<i>N</i>	<i>E (mm)</i>
Valores (mm)	1365	1320	765	1250	15	20 x 18°	900

➤ **Ventiladores HCT**

Ventiladores helicoidales murales o tubulares, versión PL equipados con hélice de plástico y versión AL equipados con hélice de aluminio.

Característica de los ventiladores HCT

- Ventilador:
 - Dirección aire motor-hélice.
 - Hélices de fundición de aluminio.
 - Envolverte tubular en chapa de acero.
- Motor:
 - Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55.
 - Monofásicos 230V.-50Hz., y trifásicos 230/400V.-50Hz. (potencias superiores a 5.5CV) y 400/690V.-50Hz. (potencias superiores a 5.5CV).
 - Temperatura de trabajo: -25°C a +50°C.
- Acabado: anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190°C, previo desengrase alcalino y pretratamiento libre de fosfatos.



FIGURA 4.3. Ventilador del grupo HCT de Sodeca⁴⁵.

En la *TABLA 4.8* se contemplan los parámetros de diseño de las distintas configuraciones posibles de matrices de ventiladores para el modelo HCT.



TABLA 4.8. Tabla con los parámetros de diseño de distintas configuraciones de matrices de ventiladores dependiendo del modelo de ventilador HCT escogido.

Modelo	HCT-80		HCT-90		HCT-100	
Configuración	1 etapa	2 etapas	1 etapa	2 etapas	1 etapa	2 etapas
long. ventilador (mm)	900	900	1015	1015	1115	1115
long. entre ellos (mm)	0	0	14	14	25	25
distancia total (mm)	900	900	1029	1029	1140	1140
Núm. vent. horizontal	8.00	8.00	7.00	7.00	6.32	6.32
Núm. vent. vertical	6.33	6.33	5.54	5.54	5.00	5.00
Ventiladores	48	96	35	70	30	60
Sec. Vent. (m ²)	0.9	0.9	1.2	1.2	1.4	1.4
Q_i (m ³ /s)	8.33	4.17	11.43	5.71	13.33	6.67
Q_i (m ³ /h)	30000	15000	41143	20571	48000	24000
ΔP_i (Pa)	416.63	208.32	416.63	208.32	416.63	208.32
ΔP_i (mm H ₂ O)	42.50	21.25	42.50	21.25	42.50	21.25
N_i (W)	3471.92	867.98	4761.49	1190.37	5555.07	1388.77

Una vez propuestas las diferentes configuraciones, hay que recurrir a las especificaciones técnicas para determinar cuáles son los ventiladores que cumplen los requisitos.

Selección de la matriz de ventiladores HCT

El procedimiento seguido para seleccionar la matriz de ventiladores ha sido el siguiente:

Se selecciona la gráfica de características de un ventilador, y nos situamos en el eje del caudal (eje horizontal superior) y en el eje de presión estática (eje vertical de la izquierda). El punto intersección entre ambas líneas nos muestra el tipo de ventilador que satisface nuestras necesidades.

Tras haber realizado este procedimiento con todos los ventiladores disponibles, se concluye que las características técnicas de este tipo de ventiladores son insuficientes para satisfacer los requisitos.



➤ Ventiladores HTP

Extractores axiales tubulares de alta presión y gran robustez, especialmente diseñados para instalaciones de minería o aplicaciones con grandes pérdidas de carga.

Características de los ventiladores HTP

- Ventilador:
 - Envoltente tubular en chapa de acero de gran espesor.
 - Soporte de motor soldado al envoltente.
 - Directrices de alto rendimiento aerodinámico para ganancia de presión.
 - Óptima protección superficial mediante acero de alta calidad.
 - Hélice de alto rendimiento, construida en fundición de aluminio.
 - Sentido de aire hélice-motor.
 - Conexión eléctrica en caja de bornes externa.
- Motor.
 - Motores eficiencia IE-2, excepto potencias inferiores a 0.75kW, monofásicos y 2 velocidades.
 - Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP-55.
 - Trifásicos 230/400V.-50Hz. (hasta 5.5CV) y 400/690CV.-50Hz. (potencias superiores a 5.5CV).
 - Temperatura de trabajo -20°C a +70°C.
- Acabado:
 - Acero de alta protección anticorrosivo, imprimación especial y pintura de alta calidad para ambientes corrosivos.



FIGURA 4.4. Ventilador del grupo HTP de Sodeca⁴⁵.

En la TABLA 4.9 se contemplan los parámetros de diseño de las distintas configuraciones posibles de matrices de ventiladores para el modelo HTP.

TABLA 4.9. Tabla con los parámetros de diseño de distintas configuraciones de matrices de ventiladores dependiendo del modelo de ventilador HTP escogido.

Modelo	HTP-80		HTP-90		HTP-100	
Configuración	1 etapa	2 etapas	1 etapa	2 etapas	1 etapa	2 etapas
long. ventilador (mm)	900	900	1015	1015	1115	1115
long. entre ellos (mm)	0	0	14	14	25	25
distancia total (mm)	900	900	1029	1029	1140	1140
número vent. horizontal	8.00	8.00	7.00	7.00	6.32	6.32
número vent. vertical	6.33	6.33	5.54	5.54	5.00	5.00
Ventiladores	48	96	35	70	30	60
Sec. Vent. (m ²)	0.9	0.9	1.2	1.2	1.4	1.4
Q_i (m ³ /s)	8.33	4.17	11.43	5.71	13.33	6.67
Q_i (m ³ /h)	30000	15000	41143	20571	48000	24000
ΔP_i (Pa)	416.63	208.32	416.63	208.32	416.63	208.32
ΔP_i (mm H ₂ O)	42.50	21.25	42.50	21.25	42.50	21.25



Una vez propuestas las diferentes configuraciones, hay que recurrir a las especificaciones técnicas para determinar cuáles son los ventiladores que cumplen los requisitos.

Selección de la matriz de ventiladores HTP

El procedimiento seguido para seleccionar la matriz de ventiladores ha sido el siguiente:

En primer lugar se recurre a la gráfica de presiones donde se calcula el punto de trabajo definido por el caudal y salto de presiones necesario, posteriormente se escoge la curva del equipo que más se acerque por encima del punto de trabajo. A continuación, en la gráfica de potencia se marca el punto de trabajo definido por el caudal y la curva de ángulo de pala escogido, se lee la potencia absorbida en el eje de potencias (izquierda), y por último, se busca la recta roja que más se acerque al punto de trabajo por encima para obtener el valor de potencia instalada de motor.

A continuación se muestran dos gráficos (*GRÁFICO 4.2 y 4.3*) que se emplean como modelo para exponer el mecanismo empleado para determinar si los ventiladores cumplen o no con las especificaciones técnicas requeridas. El gráfico corresponde al grupo HTP-80-4T, siendo el caudal y la presión a satisfacer $Q = 30000 \text{ m}^3/\text{h}$ y $\Delta P = 42.5 \text{ mmH}_2\text{O}$ respectivamente.

GRÁFICO 4.2. Diagrama de las características técnicas de los ventiladores del grupo HTP-80-4T⁴⁵.

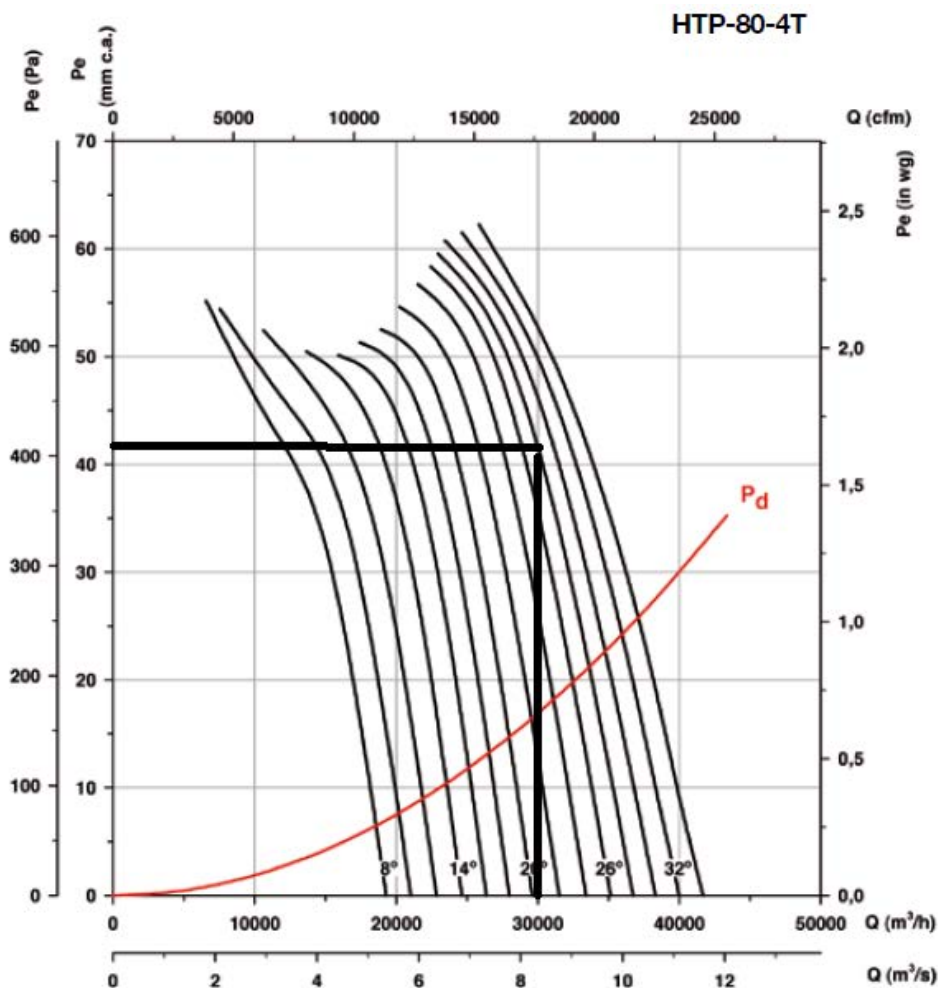
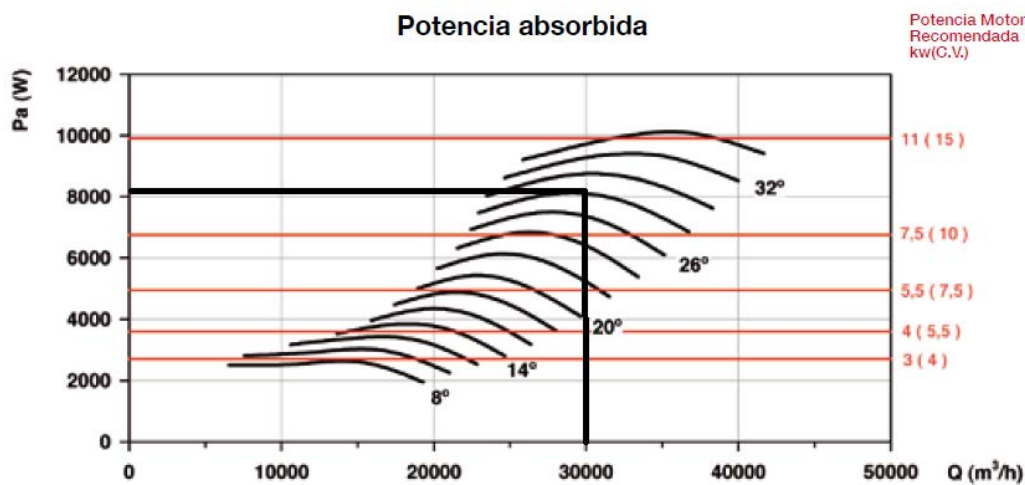


GRÁFICO 4.3. Diagrama de la potencia absorbida de los ventiladores del grupo HTP-80-4T⁴⁵.





En este caso, la curva de ángulo de pala escogida es de 28° , la potencia absorbida en el punto de trabajo es $N_a = 8000 \text{ W}$ y la potencia instalada de motor es $N_{motor} = 11 \text{ kW}$ o 15 CV .

Repitiendo este proceso para todos los casos posibles y aplicando el criterio económico que se presentó para el caso de los ventiladores HGT por el cual se descartaba la opción de introducir dos etapas, los ventiladores del grupo HTP que cumplen con los requisitos son los que se presentan en la *TABLA 4.10*.

TABLA 4.10. Modelos HTP de Sodeca capaces de aportar un caudal de $400 \text{ m}^3/\text{s}$ y un incremento de presión suficiente como para vencer las pérdidas de carga generadas en el túnel aerodinámico.

	Modelo HPT	Velocidad (rpm)	$Q_{\text{máx}}$ (m ³ /h)
HTP-80-4T	HTP-80-4T-10	1450	31500
	HTP-80-4T-15	1450	40000
HTP-90-4T	HTP-90-4T-15	1450	42200
	HTP-90-4T-20	1450	50050
	HTP-90-4T-25	1480	54550
	HTP-90-4T-30	1480	61750
HTP-100-4T	HTP-100-4T-20	1450	56300
	HTP-100-4T-25	1480	59900
	HTP-100-4T-30	1480	69900
	HTP-100-4T-40	1480	80500

Posteriormente, se le ha vuelto repetir el mismo criterio dentro de cada grupo, y el precio más bajo corresponde a los primeros de cada serie, que son los que ofrecen menores caudales. Los precios se muestran en la *TABLA 4.11*.

TABLA 4.11. Precio unitario y total de los ventiladores que cumplen todos los criterios de selección expuestos con anterioridad.

Modelo HPT	Precio unitario (€)	Precio total (€)
HTP-80-4T-10	3487.10 €	167380.80 €
HTP-90-4T-15	4166.70 €	145834.50 €
HTP-100-4T-20	4932.60 €	147978.00 €

A la vista de los precios obtenidos, el más económico es el HTP-90-4T-15, con un ángulo de pala de 24° , una potencia absorbida $N_a = 12500 \text{ W}$, y una potencia instalada de motor $N_{motor} = 15 \text{ kW}$ o 20 CV .

Para la selección de este ventilador no aplicaremos los criterios de corrección, porque como se demostró con el grupo HGT los resultados son prácticamente idénticos.

Características geométricas del ventilador HTP-90-4T-15

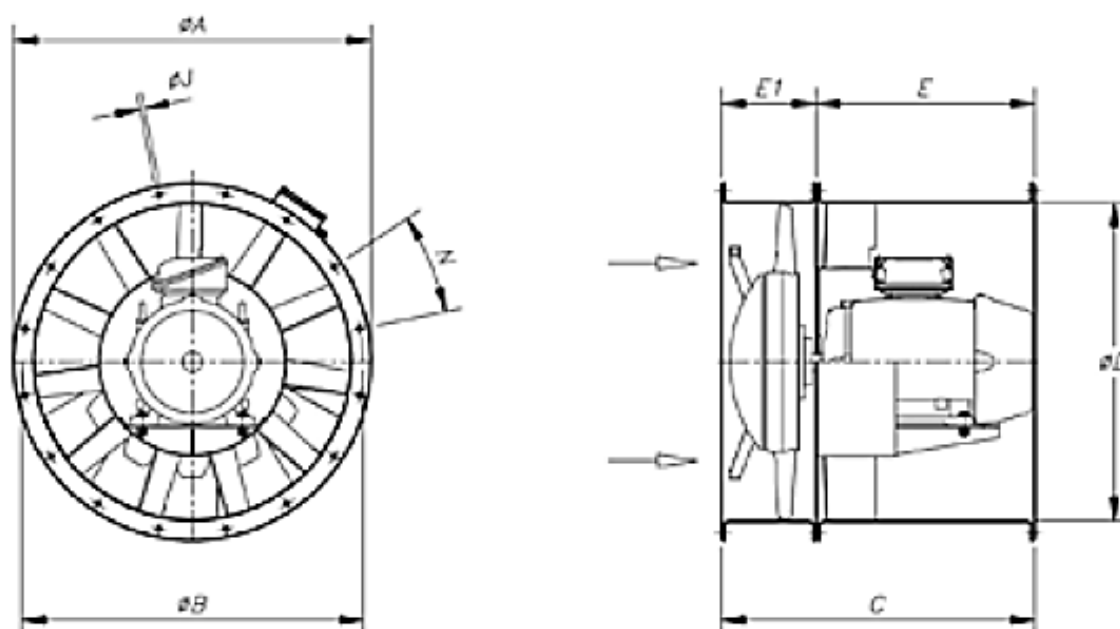


FIGURA 4.5. Geometría del ventilador HTP 90-4T-15⁴⁵.

TABLA 4.12. Dimensiones del ventilador HTP 90-4T-15.

Dimensiones	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	J (mm)	N	E (mm)	E_1 (mm)
Valores (mm)	1015	970	900	900	15	16x22°	650	250

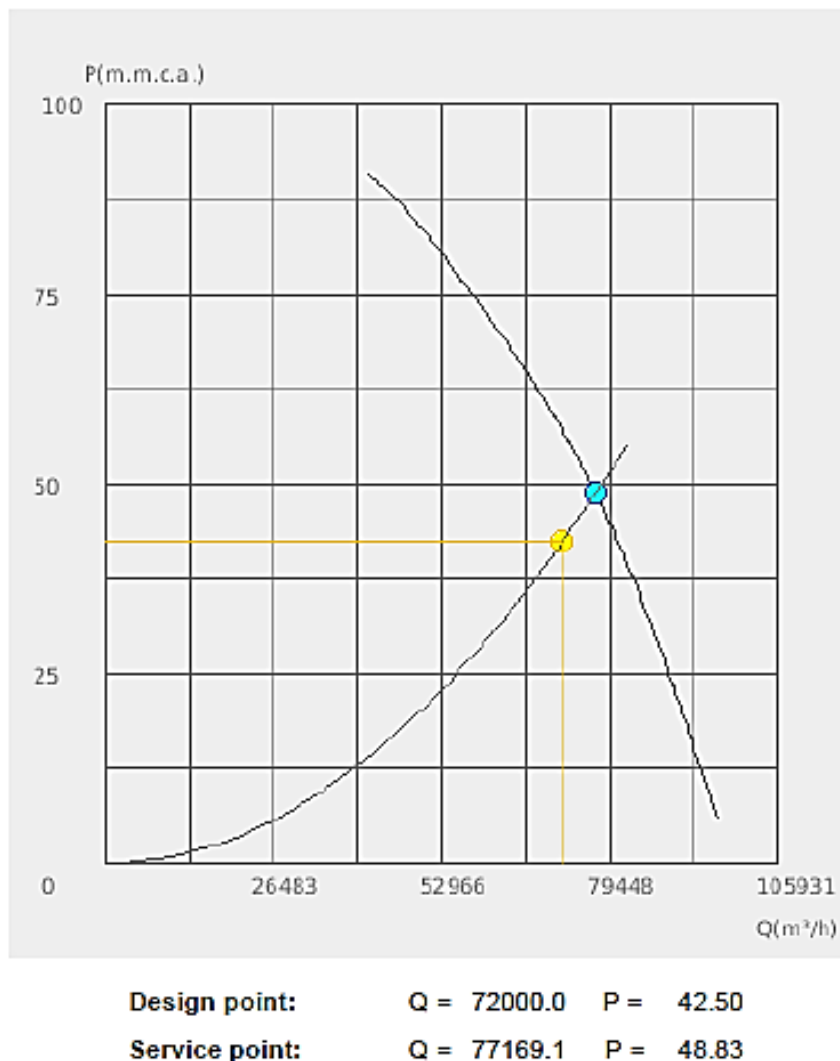


4.1.6 Selección final de la matriz de ventiladores

Una vez examinados tres grupos distintos de ventiladores, se puede concluir que el tipo de ventilador que mejor se adapta a la sección, el más económico, y del que podemos aprovechar mejor sus características es el HGT-125-4T/6-25, del cual se emplearán veinte unidades para cumplir con los requerimientos de caudal y pérdidas de carga.

Su curva de funcionamiento junto con el punto de diseño y el de servicio se presenta en el *GRÁFICO 4.4*.

GRÁFICO 4.4. Curva de funcionamiento del ventilador HGT-125-4T/6-25 (ANEXO 2).



4.2 Motor de inducción

Los ventiladores estarán movidos por motores de inducción, que son motores con unas características concretas dentro de los motores eléctricos. A modo de introducción, podría decirse que los motores de inducción o asíncronos, son motores trifásicos. Están basados en el accionamiento de una masa metálica por la acción de un campo gravitatorio y están formados por dos armaduras con campos giratorios coaxiales: una es fija, y la otra móvil son el rotor y estator respectivamente. En la *FIGURA 4.6* se puede apreciar en esquema de este tipo de motores.

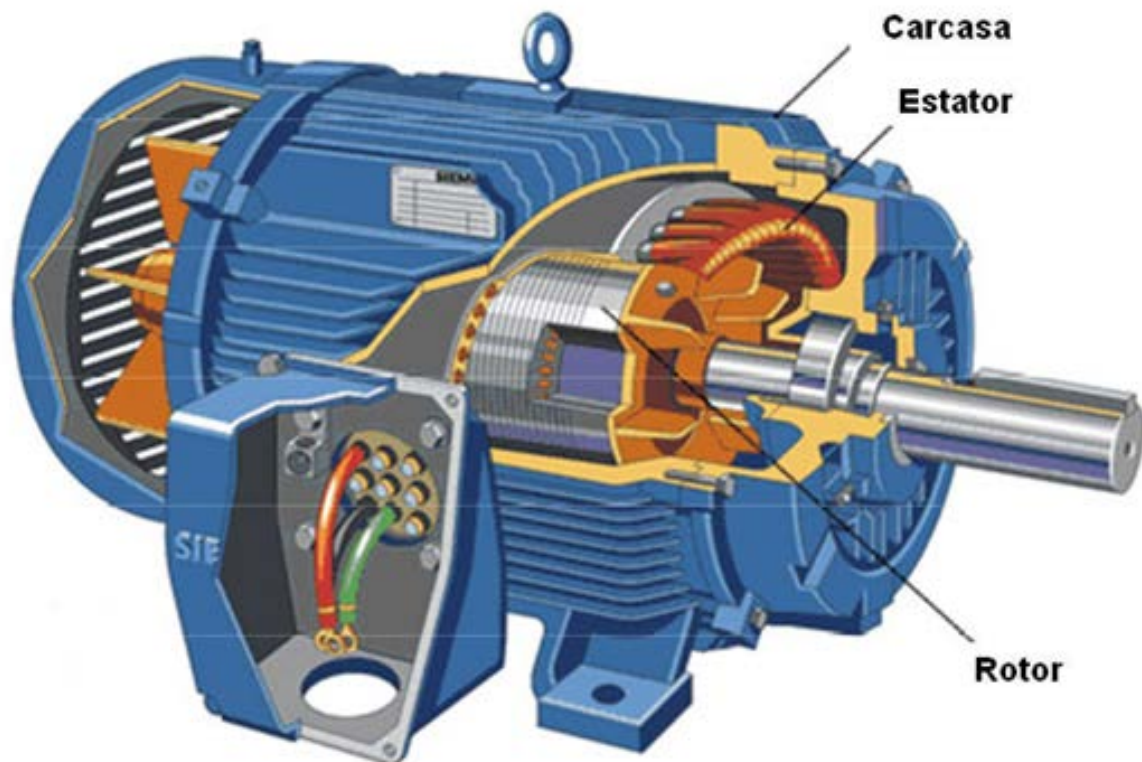


FIGURA 4.6. Dibujo esquemático de un motor de inducción.

4.2.1 Características par-velocidad del motor de inducción

Para describir cuáles son las características de par-velocidad del motor de inducción, se recurrirán a las curvas características que se muestran a continuación (GRÁFICOS 4.5 y 4.6):

GRÁFICO 4.5. Curva característica típica de un motor de inducción.

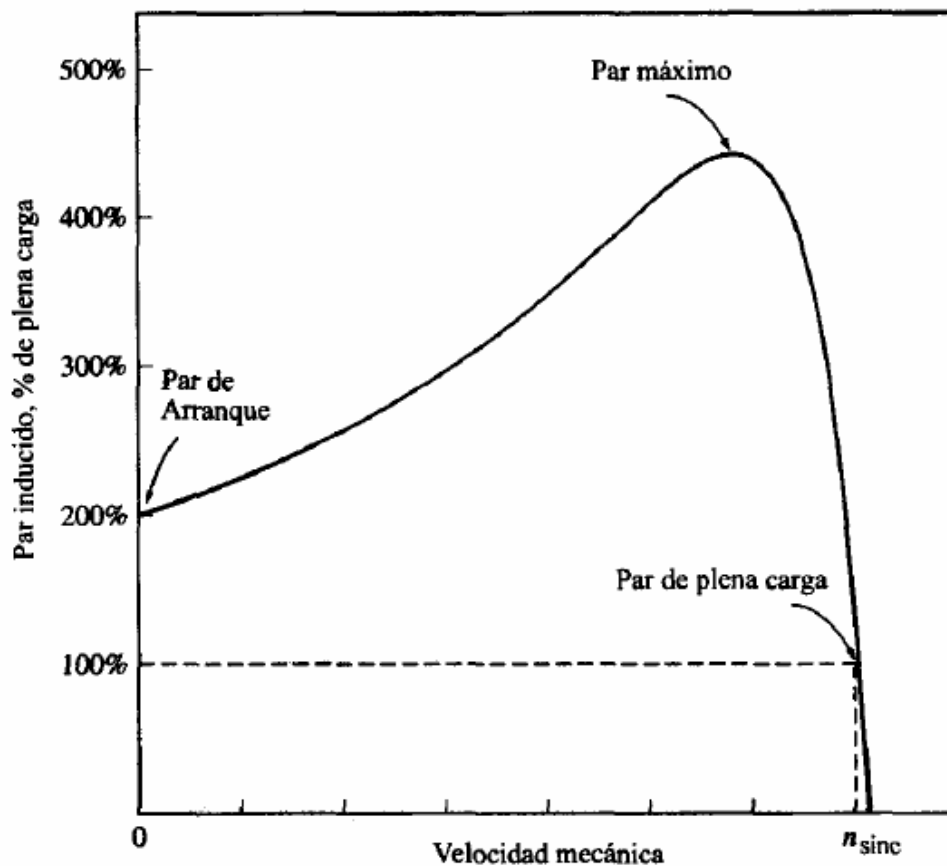
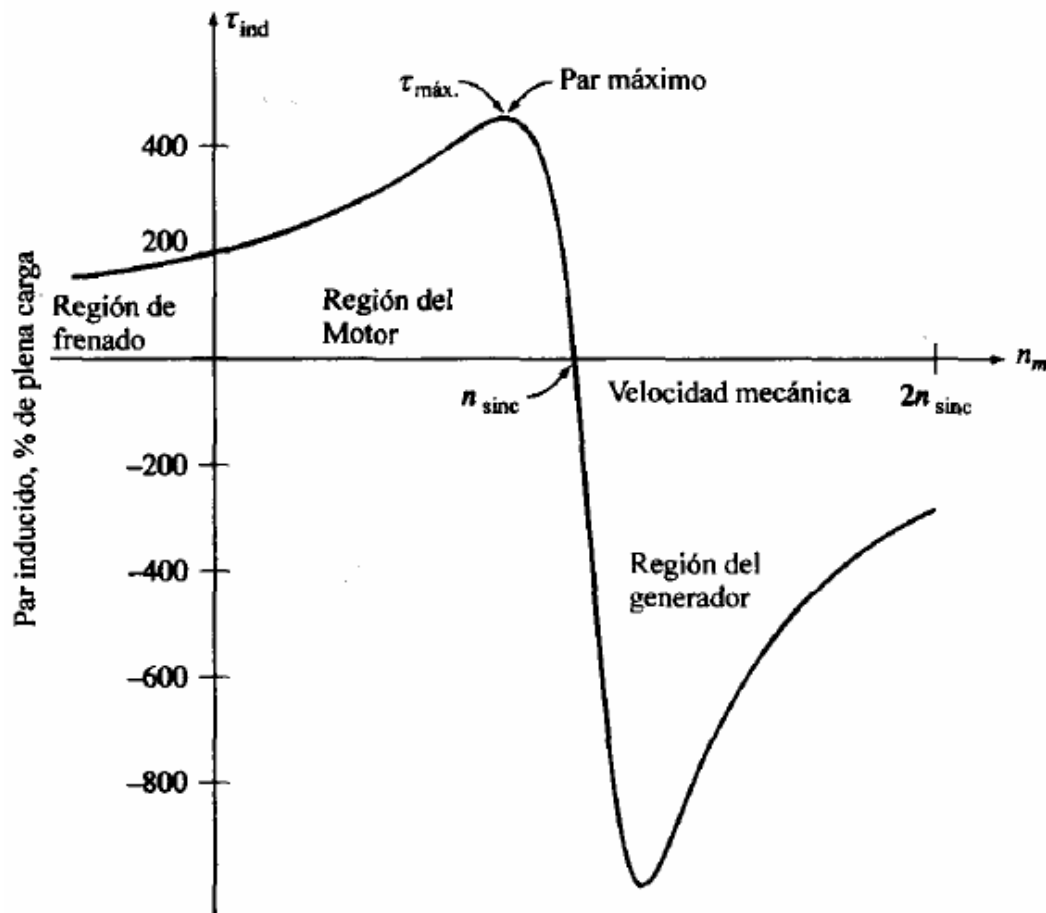


GRÁFICO 4.6. Curva característica par-velocidad de un motor de inducción, que muestra los rangos extendidos de operación (región de frenado y región de refrigeración).



La información que proporcionan, se puede resumir en los siguientes puntos:

- El par inducido del motor es cero a la velocidad sincrónica.
- La curva par-velocidad es aproximadamente lineal entre vacío y plena carga; ya que cuando crece el deslizamiento, crecen linealmente: la corriente rotórica, el campo magnético del rotor, y el par inducido.
- El par máximo o de desviación, equivale a 2 o 3 veces el par nominal y no puede ser excedido.
- El par de arranque es ligeramente mayor al par de plena carga.
- Para un deslizamiento dado, el par inducido varía con el cuadrado del voltaje aplicado.

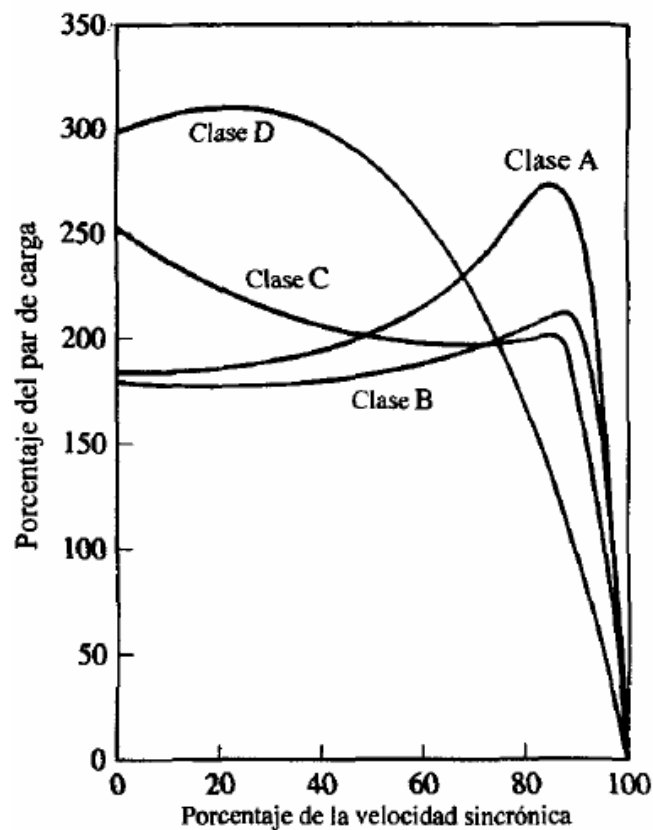


- La máquina de inducción opera como generador cuando la velocidad del rotor es mayor que la sincrónica. Entonces la dirección del par inducido se invierte, convirtiendo potencia mecánica en potencia eléctrica.
- Para frenar con rapidez el motor, se conmutan dos fases, que significa invertir la dirección de rotación del campo magnético.

4.2.2 Clases de diseño de motores de inducción

La *National Electric Manufacturers Association* (NEMA) y la *International Electrotechnical Comision* (IEC), ha desarrollado un sistema de identificación mediante letras para los motores comerciales, según las curvas características par-velocidad para cada diseño:

GRÁFICO 4.7. *Curvas características típicas para diferentes diseños de motores.*





- **Diseño clase A.** Es un motor de jaula de arcilla para usarse a velocidad constante. Sus principales características son:
 - Buena capacidad de disipación de calor.
 - Alta resistencia y baja reactancia al arranque.
 - El par máximo está entre 200% y 300% del par de plena carga y ocurre a bajo deslizamiento.
 - Aceleración bastante rápida hacia la velocidad nominal.
 - Presenta la mejor regulación de velocidad, entre el 2 y 4%.
 - Desafortunadamente su corriente de arranque varía entre 5 y 7 veces la corriente nominal.
 - Han sido reemplazados por los motores de diseño clase B en los últimos años.
 - Se utilizan en ventiladores, sopladores, bombas, tornos, etc.

- **Diseño clase B.** Se les llama motores de propósito general y a este tipo pertenecen la mayoría de los motores con rotor de jaula de arcilla. A continuación se resumen sus características:
 - Par de arranque normal, baja corriente de arranque y bajo deslizamiento.
 - Produce casi el mismo par de arranque que el diseño anterior.
 - El par máximo es mayor o igual al 200% el par de carga nominal.
 - Deslizamiento bajo (menor del 5%).
 - Se prefieren sobre los diseños de clase A por requerir poca corriente de arranque.

- **Diseño clase C.**
 - Alto par de arranque (entre 2 y 2.5 veces el nominal) con bajas corrientes de arranque (de 3.5 a 5 veces la nominal).
 - Son contruidos con un rotor de doble jaula (más costoso).
 - Bajo deslizamiento (menos del 5%) a plena carga.
 - Debido a su alto par de arranque, acelera rápidamente.
 - Cuando se emplea con cargas pesadas, se limita la disipación térmica del motor, ya que la mayor parte de la corriente se concentra en el devanado superior.



- Tiende a sobrecalentarse con arranques frecuentes.
- Se utilizan para cargas con alto par de arranque, como bombas, compresores y transportadores.
- **Diseño clase D.**
 - También conocido como de alto par y alta resistencia.
 - Alto par de arranque (275% o más del nominal) y baja corriente de arranque.
 - Alto deslizamiento a plena carga.
 - La alta resistencia del rotor desplaza el par máximo hacia una velocidad muy baja.
 - Diseñado para servicio pesado de arranque, en especial grandes volantes utilizados en troqueladoras o cortadoras.

También existen las clases E y F, llamados motores de inducción de arranque suave, pero hoy en día están obsoletos.

Una vez vistos las distintas clases de motores de inducción y sus características, se puede concluir que el diseño más apropiado para el proyecto son los de clase F, porque son con los que van equipados los ventiladores.

4.3 Iluminación

En cuanto a la iluminación del túnel aerodinámico se van a emplear dos tipos distintos dependiendo de los requerimientos y del lugar. Por un lado se empleará una iluminación localizada y por otro una iluminación uniforme.

4.3.1 Iluminación localizada

Esta será de gran utilidad desde el punto de vista del mantenimiento y reparación del túnel. Tanto para realizar las revisiones de la planta de potencia como para llevar a cabo el mantenimiento del panel *honeycomb* o la rejilla, será necesario que los operarios tengan una buena iluminación de los elementos para poder



examinarlos con rigor, por ello se empleará una lámpara de trabajo con trípode de 1000 W. En la *FIGURA 4.7* se muestra dicha lámpara y en la *TABLA 4.13* se recogen sus especificaciones.



FIGURA 4.7. Lámpara de trabajo con trípode de 1000 W.

TABLA 4.13. Especificaciones de la lámpara de trabajo con trípode de 1000 W.

Tipo de bombilla	Halógenas
Voltaje de la bombilla	1000 W
Tipo de bombilla	Halógenas
Cantidad de cabezales	Cabezal doble
Cantidad de patas de la base de la luz de trabajo	Trípode
Tipo de luz de trabajo	Independiente
Material del protector de la bombilla	Metal
Cantidad de bombillas requeridas	2
Tipo de bombilla requerida	Halógenas
Altura de la base de la luz de trabajo	70" extendido
Tipo de base de luz de trabajo	Trípode
Longitud del cable	12 ft

Para poder operar con dicha lámpara será necesario la utilización de un alargador que podrá conectarse en las tomas de corriente colocadas estratégicamente a lo largo del túnel (en apartados posteriores se describen los detalles de los puntos de conexión).

4.3.2 Iluminación distribuida

Este tipo de alumbrado será el empleado para iluminar la cámara de ensayos. Se emplearán los fluorescentes *T8 Polylux™ XLr™ LongLast™ Range* (FIGURA 4.8), los cuales son unos fluorescentes de alta calidad entre cuyas características destacan las siguientes:

- Producto cuya vida útil es muy larga y fiable (hasta 46000 horas en equipos electrónicos HF).
- Excelente mantenimiento del flujo luminoso durante su vida en servicio (90%).
- Excelente índice de reproducción cromática (85 Ra).
- Se trata de un producto ecológico que cumple con la normativa ROHS y contiene componentes reciclables.

En el ANEXO 2 se puede ver el catálogo correspondiente a este producto. De las diferentes opciones, se ha optado por el dispositivo de 58 W por ser más fácil de conseguir en el mercado y por cumplir las características necesarias.



FIGURA 4.8. Imagen del fluorescente *T8 Polylux™ XLr™*.



En la *FIGURA 4.9* y en la *TABLA 4.14* mostradas a continuación pueden consultarse sus dimensiones.

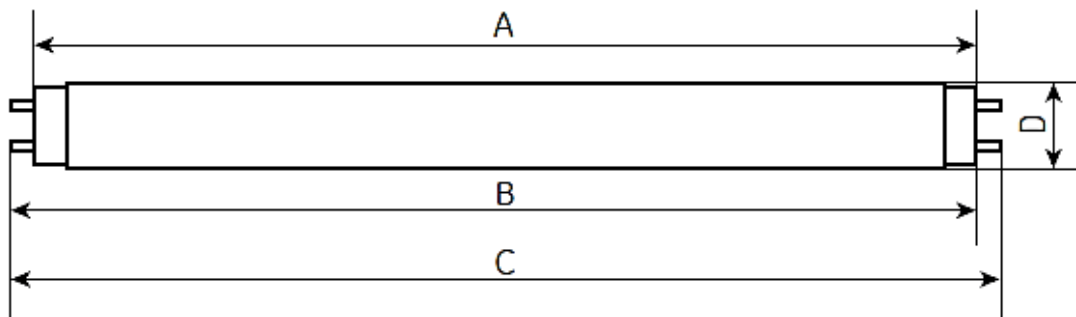


FIGURA 4.9. Geometría de un fluorescente T8 PolyfluxTM XL_RTM.

TABLA 4.14. Dimensiones y potencia de un fluorescente T8 PolyfluxTM XL_RTM.

<i>P (W)</i>	<i>A (mm)</i>	<i>B (mm)</i>		<i>C (mm)</i>	<i>D (mm)</i>
Potencia	Max.	Max.	Min.	Max.	Max.
58	1500	1507,1	1504,7	1514,2	26

Estos fluorescentes se colocarán sobre el techo de cristal de la cámara de ensayos, sobre un bastidor preparado para tal fin. Estarán situados a ambos lados y alojados a pares en el interior de unas pantallas estancas. Las pantallas escogidas han sido las *TCW216* de Phillips de las cuales se presentan sus dimensiones (en el ANEXO 2 pueden consultarse sus características técnicas).

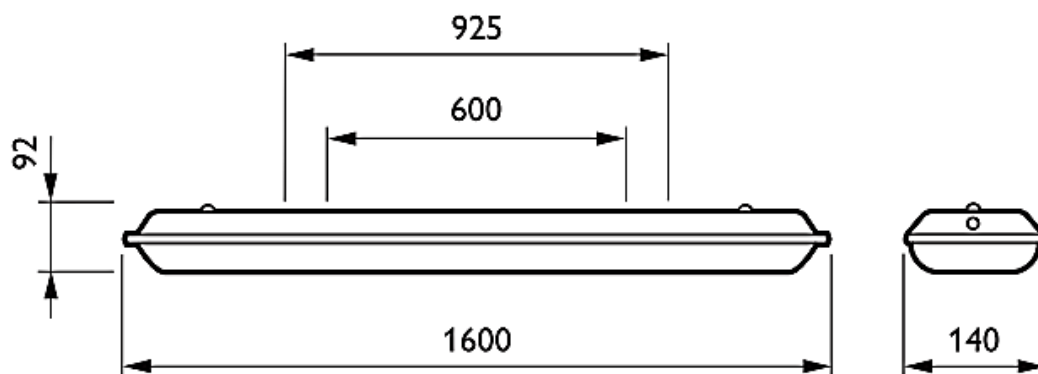


FIGURA 4.10. Geometría y dimensiones de las pantallas estancas TCW216 de Phillips.

Estas pantallas se distribuirán uniformemente a lo largo de la cámara de ensayos (*FIGURA 4.11*) para proporcionar la luz adecuada.

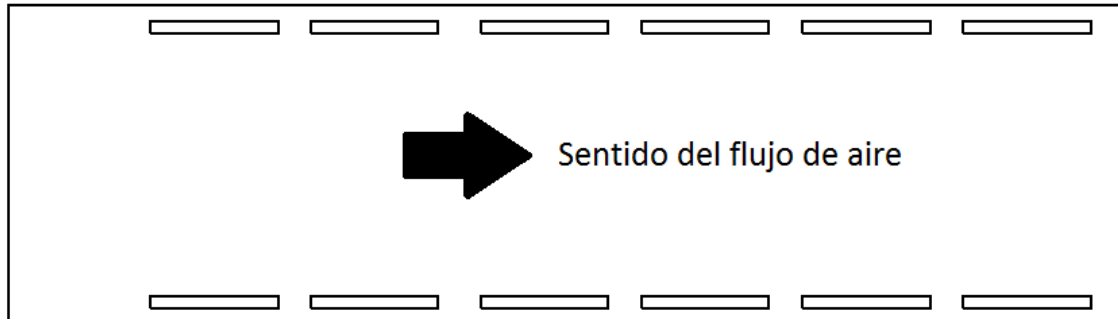


FIGURA 4.11. Distribución uniforme de las pantallas estancas TCW216.

De todas las pantallas estancas cuatro de ellas tendrán un equipo autónomo de emergencia por si se produce algún tipo de fallo que afecte a la red eléctrica. El kit autónomo seleccionado ha sido el *AT 1601*, formado por unos balastos autónomos diseñados para convertir a cualquier luminaria con tubo fluorescente en una luz de emergencia, que en este caso será de carácter permanente. Este kit solo puede suministrar potencia a una luminaria, por lo que serán necesarios 4 equipos (los detalles de la instalación se desarrollarán en el próximo capítulo).



5. CIRCUITOS ELÉCTRICOS Y REGULACIÓN DE POTENCIA



(Página intencionadamente en blanco)



5 CIRCUITOS ELÉCTRICOS Y REGULACIÓN DE POTENCIA

5.1 Circuitos eléctricos

Según el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), donde se recoge que: “Las instalaciones se subdividirán de forma que las perturbaciones originadas por averías que puedan producirse en un punto de ellas, afecten solamente a ciertas partes de la instalación, por ejemplo a un sector del edificio, a un piso, a un solo local, etc., para lo cual los dispositivos de protección de cada circuito estarán adecuadamente coordinados y serán selectivos con los dispositivos generales de protección que les precedan.

Toda instalación se dividirá en varios circuitos, según las necesidades, a fin de:

- evitar las interrupciones innecesarias de todo el circuito y limitar las consecuencias de un fallo
- facilitar las verificaciones, ensayos y mantenimientos
- evitar los riesgos que podrían resultar del fallo de un solo circuito que pudiera dividirse, como por ejemplo si solo hay un circuito de alumbrado.”

De manera que tal y como rige el reglamento las instalaciones se han dividido en los siguientes circuitos en lo que respecta al túnel aerodinámico:

- Iluminado 1: formado por las pantallas estancas (4) situadas encima de la sección extraíble de la cámara de ensayos.
- Iluminado 2: formado por las pantallas estancas (8) situadas encima de la parte fija de la cámara de ensayos.
- Iluminado de emergencia: lo constituirá el circuito formado por los kit de emergencia (4) que se emplearán para convertir cuatro luminarias escogi-



das estratégicamente (dos del iluminado 1 y dos del iluminado 2) en luces de emergencia.

- Punto de conexión 1: situado en las inmediaciones de la cámara de ensayos para suministrar la potencia necesaria a los instrumentos y sistemas de medida. A su vez, está formado por otros dos circuitos, uno de tomas de corriente de uso general o frías (2) y otro con tomas de corriente del SAI o calientes (8). La diferencia entre ambas tomas de corriente es que las primeras se emplean para elementos auxiliares como puede ser maquinaria para realizar revisiones o reparaciones (taladradora, iluminación localizada, etc.) y las segundas están alimentadas por un sistema de alimentación ininterrumpida, SAI, que es un dispositivo formado por baterías para proporcionar energía eléctrica en caso de apagón a todos los dispositivos que tenga conectados, y a su vez, está conectado a la red eléctrica. Otra de sus funciones es la de mejorar la calidad de la energía eléctrica que llega a las cargas, filtrando subidas y bajadas de tensión y eliminando armónicos de la red.
- Punto de conexión 2: situado en el puesto de control para suministrar potencia a los ordenadores, impresoras y otros equipos auxiliares. Al igual que el punto de conexión 1, estará formado por 2 circuitos, tomas de corriente frías (5) y tomas de corriente calientes (5).
- Punto de conexión 3: localizado cerca de la planta de potencia para proporcionar potencia a equipos auxiliares como el alumbrado localizado que se empleará para realizar las revisiones de la planta de potencia. Sólo estará formado por tomas de corriente frías (4).
- Etapas de trabajo 1, 2 y 3: los datos sobre estos circuitos se comentarán con mayor profundidad en el apartado correspondiente a la regulación (5.2). En primera aproximación basta con aclarar que cada etapa estará compuesta por dos circuitos, uno que une los ventiladores con el variador, y otro que une el variador con el cuadro general.



- Etapa de trabajo 4: la diferencia de este circuito con los anteriores es que será una mezcla de los mismos, que corresponderá al funcionamiento de todos los ventiladores.

Por último, hay que resaltar que la parte externa al túnel aerodinámico, es decir, el sistemas de ventilación, de extracción, etc. no forman parte del alcance del proyecto, de manera, que no se ha tenido en cuenta para el desarrollo del sistema eléctrico y de regulación de potencia del mismo.

En la *FIGURA 5.1* se muestra un esquema de los circuitos del túnel aerodinámico, así como de la posición del cuadro general y del puesto de control.

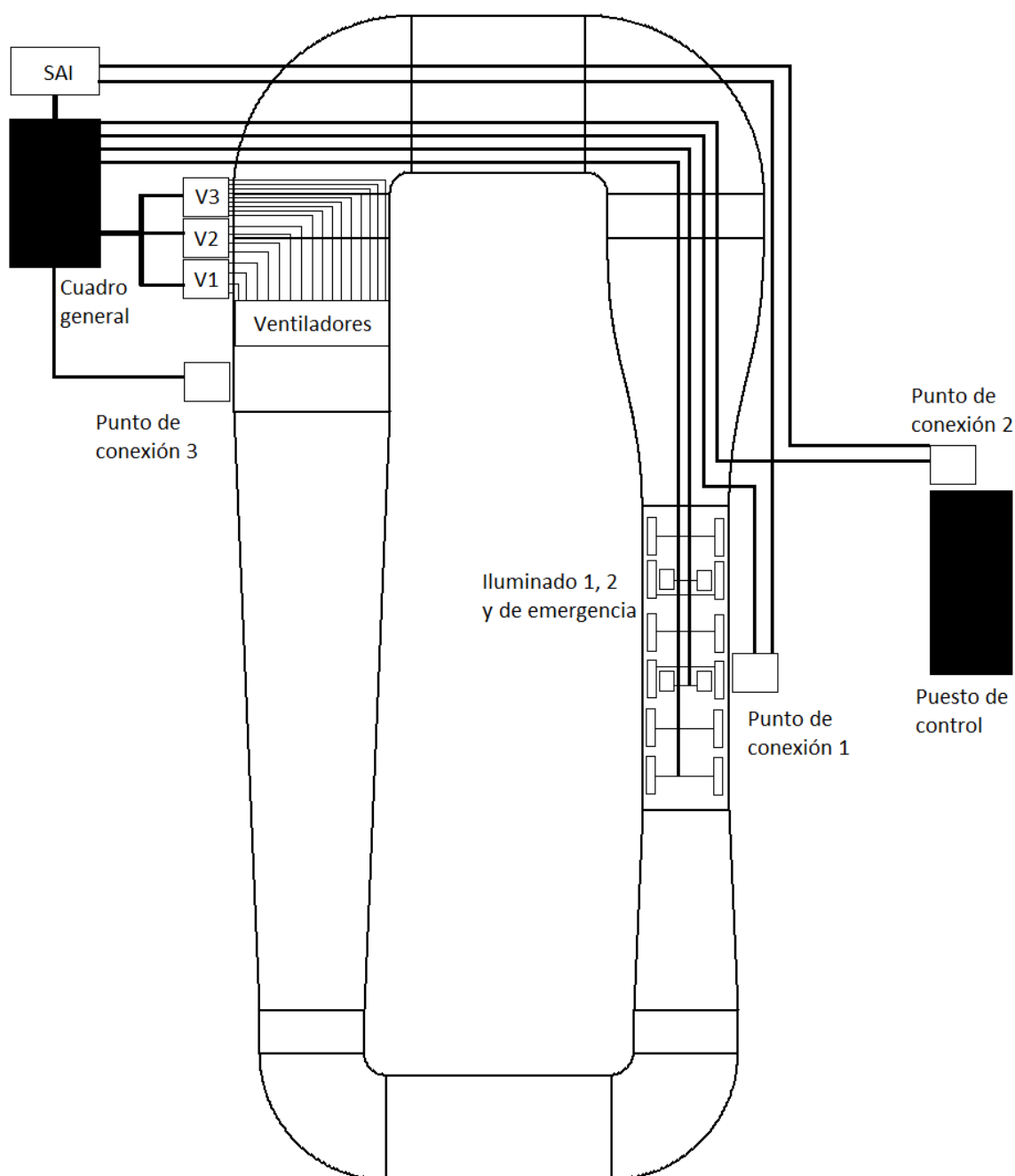


FIGURA 5.1. Boceto de los circuitos eléctricos que componen el túnel.



5.2 Regulación de la planta de potencia

Debido a la gran variedad de ensayos que se podrán desempeñar en el túnel, será necesario elegir diferentes etapas de trabajo. Puesto que la regularidad del flujo es fundamental para obtener buenos resultados, será necesario que dichas etapas sean lo más simétricas posible en cuanto al funcionamiento de los ventiladores se refiere. A continuación se muestran las cuatro etapas seleccionadas, pero antes es necesario definir un sistema de numeración para los ventiladores a fin de agilizar las labores de mantenimiento y saber a qué motor o ventilador se hace referencia en cada momento. El sistema adoptado es un sistema matricial y cuya disposición se puede apreciar en la *FIGURA 5.2* (la vista mostrada es desde el difusor 2, es decir, según el camino seguido por el flujo).

(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)	(1,5)
(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)	(2,5)
(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)	(3,5)
(4,1)	(4,2)	(4,3)	(4,4)	(4,5)

FIGURA 5.2. Numeración de la matriz de ventiladores.

- **Etapa de trabajo 1:** ventiladores número (2,2), (3,2), (2,4) y (3,4) en funcionamiento (*FIGURA 5.3*).

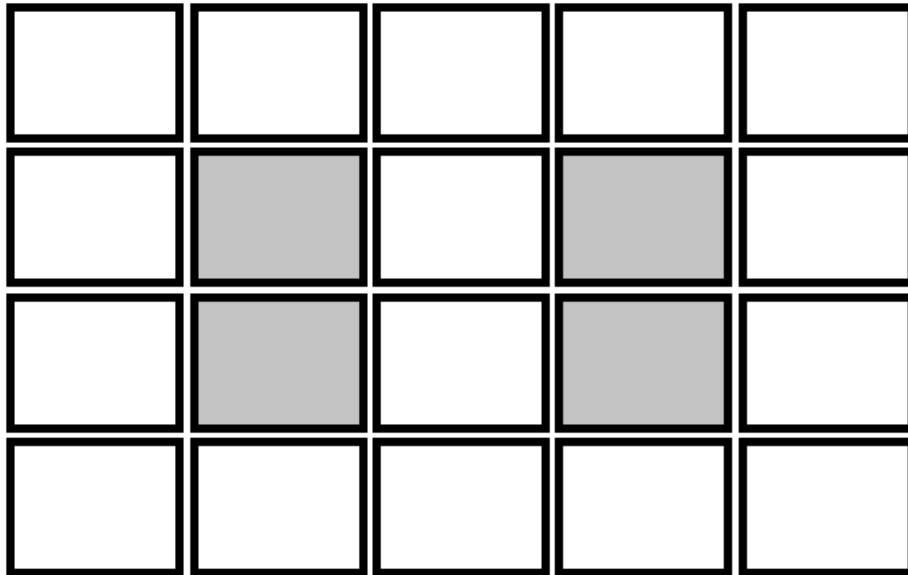


FIGURA 5.3. Esquema de la etapa 1 de trabajo. Se han coloreado en gris los ventiladores que están en funcionamiento.

- **Etapa de trabajo 2:** ventiladores número (1,2), (4,2), (1,4) y (4,4) (*FIGURA 5.4*).

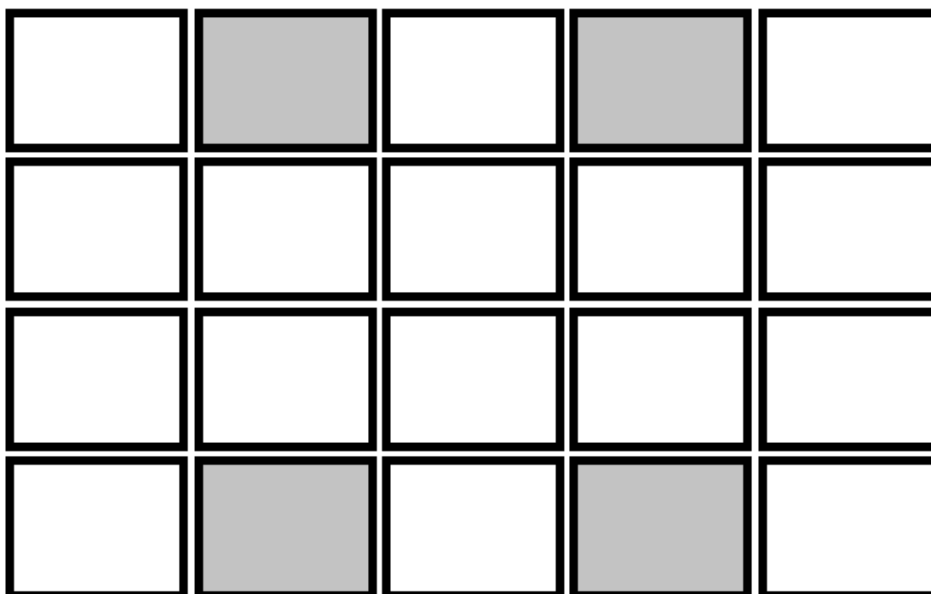


FIGURA 5.4. Esquema de la etapa 2 de trabajo. Se han coloreado en gris los ventiladores que están en funcionamiento.

- **Etapa de trabajo 3:** Ventiladores de las columnas 1, 3 y 5 en funcionamiento, los correspondientes a los números (1,1), (2,1), (3,1), (4,1), (1,3), (2,3), (3,3), (4,3), (1,5), (2,5), (3,5) y (4,5) (FIGURA 5.5).

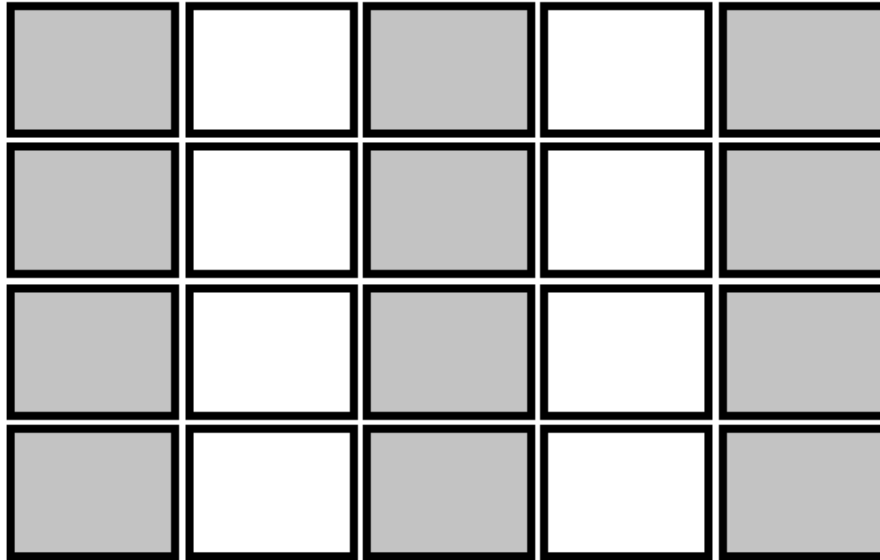


FIGURA 5.5. Esquema de la etapa 3 de trabajo. Se han coloreado en gris los ventiladores que están en funcionamiento.

- **Etapa de trabajo 4 (total):** toda la matriz de ventiladores en funcionamiento (FIGURA 5.6).

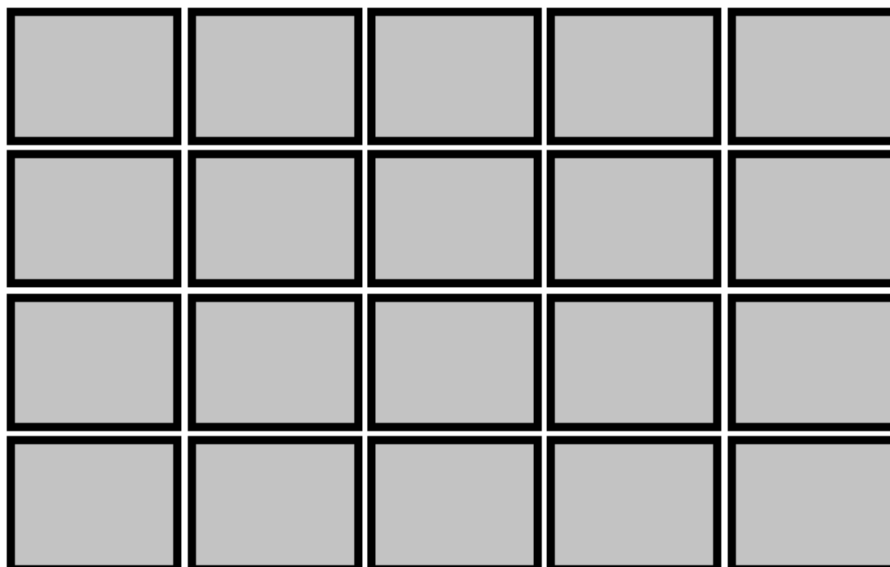


FIGURA 5.6. Esquema de la etapa 4 de trabajo. Se han coloreado en gris los ventiladores que están en funcionamiento.



La velocidad de los ventiladores se regulará por software o mediante un computador de 4 posiciones manual y luego un potenciómetro para obtener la velocidad deseada de 0 a 100%. El arranque es directo porque lo realiza el variador correspondiente.

Otro equipo que sería interesante introducir es un grupo electrógeno, y a pesar de que no se profundizará en su estudio, se justificará la razón por la que lo es. El grupo electrógeno se emplearía en la matriz de ventiladores y su objetivo es muy similar al del kit de emergencia, puesto que se utilizaría como suministrador de potencia de emergencia en caso de que se produjera un fallo en la red eléctrica.

5.3 Cableado de la instalación eléctrica

El cableado que se utilizará será el *RZ* apantallado, se trata de un cable normalizado por la norma *UNE 21030-2*, de tensión asignada 0.6/1kV, con cubierta aislante de polietileno reticulado (R) y conductores de cobre cableados a derechas (Z). La razón de emplear este cable para toda la instalación es que al estar apantallado evita la introducción de ruido y además está normalizado.

Para calcular la sección necesaria de un cable se puede proceder de varias maneras: empleando la intensidad, la caída de tensión o mediante cortocircuito.

- Caída de tensión: para calcular dicha sección se tendrá que emplear diferentes expresiones en función de la conexión del elemento, si el circuito es monofásico su sección vendrá determinada por la expresión (5.1), mientras que si el circuito es trifásico vendrá definida por la expresión (5.2).

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot \rho \cdot I \cdot \cos\varphi}{\Delta V} \quad (5.1)$$

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\Delta V} \quad (5.2)$$



siendo S la sección del cable (en metros cuadrados), ρ la resistividad del conductor (en ohmios por metro), L la longitud del cable (en metros), I la intensidad (en amperios), $\cos\varphi$ el factor de potencia y ΔV la caída de tensión (en voltios).

Una vez definidas las ecuaciones necesarias para el cálculo, es necesario calcular el factor de potencia de los elementos que componen el sistema eléctrico del túnel. Como cada elemento consumirá una potencia activa (W) y una potencia reactiva (VAR), será necesario introducir fasores ($Z_\varphi = R + X_L \cdot j$). Una vez introducidos, se podrá determinar el factor de potencia de los elementos conocida la potencia, la tensión y la intensidad (ecuación (5.3) para monofásico, (5.4) para trifásico en estrella y (5.5) para trifásico en triángulo).

$$\cos\varphi = \frac{P}{V \cdot I} \quad (5.3)$$

$$\cos\varphi = \frac{P_T}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L} \quad (5.4)$$

$$\cos\varphi = \frac{\sqrt{3} \cdot P_T}{3 \cdot V_L \cdot I_L} \quad (5.5)$$

siendo P_T la potencia total (en vatios), V_L la tensión de línea (en voltios) e I_L la intensidad de línea (en amperios). Determinado el factor de potencia y teniendo en cuenta que la resistividad del cobre es $\rho = 1.71 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$, se procedería a calcular la sección necesaria.

- Intensidad: otra posible forma de estimar la sección del cable es mediante la intensidad, ya que en todo momento el conductor ha de soportar la tensión del cable sin deteriorarse. El elemento que va a limitar la temperatura máxima a la que es capaz de trabajar el cable es su aislamiento, generalmente de material plástico. En la *TABLA 5.1* se presenta el diámetro de los cables en función de la intensidad.



TABLA 5.1. Diámetro de los cables de cobre en función de la intensidad.

A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR					
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes.	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
B		Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra.				3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
B2		Cables multiconductores en tubos en montaje superficial y empotrados en obra.			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR		2x XLPE o EPR			
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared ³					3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
E		Cables multiconductores al aire libre. Distancia a la pared no inferior a 0,3D ⁵						3x PVC		2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR	
F		Cables unipolares en contacto mutuo ⁴ . Distancia a la pared no inferior a D ⁵							3x PVC			3x XLPE o EPR ¹	
G		Cables unipolares separados mínimo D ⁵ .									3x PVC		3x XLPE o EPR
Cobre	mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-	
	2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-	
	4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-	
	6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-	
	10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-	
	16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-	
	25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166	
	35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	205	
	50				117	125	133	145	159	175	188	250	
	70				149	160	171	188	202	224	244	321	
	95				180	194	207	230	245	271	296	391	
	120				208	225	240	267	284	314	348	455	
	150				236	260	278	310	338	363	404	525	
	185				268	297	317	354	386	415	464	601	
	240				315	350	374	419	455	490	552	711	
	300				360	404	423	484	524	565	640	821	

- Corto circuito: en un cortocircuito, puesto que la intensidad es muy grande y la duración muy corta, se puede considerar que el conductor sufre un calentamiento adiabático, es decir, todo el calor generado eleva la temperatura



ra del cable. A través de la expresión (5.6) puede determinarse la sección del cable.

$$S = \sqrt{\frac{I_{cc}^2 \cdot t_{cc}}{K^2 \cdot \ln\left(\frac{\beta + T_f}{\beta + T_i}\right)}} \quad (5.6)$$

donde I_{cc} es la corriente máxima de cortocircuito admisible (en amperios), t_{cc} es la duración del cortocircuito (en segundos), K y β son constantes que dependen del conductor (en el caso del cobre 226 y 234.5 respectivamente), T_f es la temperatura final del cortocircuito (en °C), T_i la temperatura inicial de conductor (en °C) y S la sección (en milímetros cuadrados). Este método no se empleará para dimensionar la sección de los cables.

A continuación se muestra unas *TABLAS 5.2-5.17* en las que se desarrollan las características de cada circuito del túnel: número de receptores, potencia unitaria, tensión, intensidad, potencia total, tipo de circuito, factor de potencia, caída de tensión aplicada, longitud y sección del cable calculada por intensidad y caída de tensión. Hay que tener en cuenta que las longitudes tomadas son las más desfavorables para evitar que algún cable quede mal dimensionado.

La caída de tensión aplicada ha sido del 3% para el alumbrado y del 5% para el resto, tal y como dice el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) : “La sección de los conductores a utilizar se determinará de forma que la caída de tensión entre el origen de la instalación interior y cualquier punto de utilización sea, salvo lo prescrito en las instrucciones particulares, menor del 3 % de la tensión nominal para cualquier circuito interior de viviendas, y para otras instalaciones interiores o receptoras, del 3 % para alumbrado y del 5 % para los demás usos.”

**TABLA 5.2.** Datos del circuito de iluminación 1.

Circuito	Iluminación 1
<i>Nº receptores</i>	4
<i>P (W)</i>	116
<i>V (V)</i>	230
<i>I (A)</i>	2.02
<i>P_T (W)</i>	464
<i>Tipo de circuito</i>	Monofásico
<i>S (mm²) Caída de tensión</i>	0.65
<i>S (mm²) Intensidad</i>	1.5
<i>cosφ</i>	1
<i>L (m)</i>	65
<i>Caída de tensión aplicada</i>	3%

A la vista de los resultados se puede concluir que la sección más restrictiva es la calculada por intensidad y por lo tanto la sección de este cable será de 1.5mm².

TABLA 5.3. Datos del circuito de iluminación 2.

Circuito	Iluminación 2
<i>Nº receptores</i>	8
<i>P (W)</i>	116
<i>V (V)</i>	230
<i>I (A)</i>	4.03
<i>P_T (W)</i>	928
<i>Tipo de circuito</i>	Monofásico
<i>S (mm²) Caída de tensión</i>	1.50
<i>S (mm²) Intensidad</i>	1.5
<i>cosφ</i>	1
<i>L (m)</i>	75
<i>Caída de tensión aplicada</i>	3%

A la vista de los resultados se puede concluir que la sección calculada por ambos métodos es la misma por lo que sería de 1.5mm², pero por razones de seguridad se escogerá la de 2.5 mm².

**TABLA 5.4.** Datos del iluminado de emergencia.

Circuito	Iluminado de emergencia
N° receptores	4
P (W)	5
V (V)	230
I (A)	0.09
P_T (W)	20
Tipo de circuito	Monofásico
S (mm ²) Caída de tensión	0.03
S (mm ²) Intensidad	1.5
$\cos\phi$	1
L (m)	73
Caída de tensión aplicada	3%

La sección más restrictiva es la obtenida por intensidad por lo que será de 1.5mm².

TABLA 5.5. Datos de las tomas de corriente frías del punto de conexión 1.

Circuito	Tomas de corriente frías
N° receptores	2
P (W)	-
V (V)	230
I (A)	9.57
P_T (W)	2200
Tipo de circuito	Monofásico
S (mm ²) Caída de tensión	2.14
S (mm ²) Intensidad	1.5
$\cos\phi$	1
L (m)	75
Caída de tensión aplicada	5%

La sección más restrictiva es la calculada por caída de tensión y por lo tanto la sección de este cable será de 2.5 mm².



TABLA 5.6. Datos de las tomas de corriente del SAI correspondientes al punto de conexión 1.

Circuito	Tomas de corriente del SAI
<i>N° receptores</i>	8
<i>P (W)</i>	-
<i>V (V)</i>	230
<i>I (A)</i>	9.57
<i>P_T (W)</i>	2200
<i>Tipo de circuito</i>	Monofásico
<i>S (mm²) Caída de tensión</i>	2.14
<i>S (mm²) Intensidad</i>	1.5
<i>cosφ</i>	1
<i>L (m)</i>	75
<i>Caída de tensión aplicada</i>	5%

La sección más restrictiva es la calculada por caída de tensión y por lo tanto la sección de este cable será de 2.5 mm².

TABLA 5.7. Datos de las tomas de corriente frías del punto de conexión 2.

Circuito	Tomas de corriente frías
<i>N° receptores</i>	5
<i>P (W)</i>	-
<i>V (V)</i>	230
<i>I (A)</i>	9.57
<i>P_T (W)</i>	2200
<i>Tipo de circuito</i>	Monofásico
<i>S (mm²) Caída de tensión</i>	2.36
<i>S (mm²) Intensidad</i>	1.5
<i>cosφ</i>	1
<i>L (m)</i>	83
<i>Caída de tensión aplicada</i>	5%

La sección más restrictiva es la calculada por caída de tensión y por lo tanto la sección de este cable será de 2.5 mm².



TABLA 5.8. Datos de las tomas de corriente del SAI correspondientes al punto de conexión 2.

Circuito	Tomas de corriente del SAI
<i>Nº receptores</i>	5
<i>P (W)</i>	-
<i>V (V)</i>	230
<i>I (A)</i>	9.57
<i>P_T (W)</i>	2200
<i>Tipo de circuito</i>	Monofásico
<i>S (mm²) Caída de tensión</i>	2.36
<i>S (mm²) Intensidad</i>	1.5
<i>cosφ</i>	1
<i>L (m)</i>	83
<i>Caída de tensión aplicada</i>	5%

La sección más restrictiva es la calculada por intensidad y por lo tanto la sección de este cable será de 2.5 mm².

TABLA 5.9. Datos de las tomas de corriente del punto de conexión 3.

Circuito	Tomas de corriente frías
<i>Nº receptores</i>	4
<i>P (W)</i>	-
<i>V (V)</i>	230
<i>I (A)</i>	9.57
<i>P_T (W)</i>	2200
<i>Tipo de circuito</i>	Monofásico
<i>S (mm²) Caída de tensión</i>	0.43
<i>S (mm²) Intensidad</i>	1.5
<i>cosφ</i>	1
<i>L (m)</i>	15
<i>Caída de tensión aplicada</i>	5%

La sección más restrictiva es la calculada por intensidad y por lo tanto cabría esperar que la sección de este cable sería de 1.5mm², pero el reglamento esta-



blece que las tomas de corriente, la sección del cable debe de tener una sección mínima de 2.5 mm^2 por lo que esa será la sección del cable.

TABLA 5.10. Datos del circuito cuadro general/SAI.

Circuito	Cuadro general/SAI
<i>Nº receptores</i>	1
<i>P (W)</i>	4400
<i>V (V)</i>	230
<i>I (A)</i>	19.13
<i>P_T (W)</i>	4400
<i>Tipo de circuito</i>	Monofásico
<i>S (mm²) Caída de tensión</i>	1.90
<i>S (mm²) Intensidad</i>	4
<i>cosφ</i>	1
<i>L (m)</i>	20
<i>Caída de tensión aplicada</i>	5%

La sección más restrictiva es la calculada por intensidad y por lo tanto la sección de este cable será de 4 mm^2 .

TABLA 5.11. Datos del circuito cuadro general/variador de la etapa 1.

Circuito	Cuadro general/Variador
<i>Nº receptores</i>	1
<i>P (W)</i>	74000
<i>V (V)</i>	400
<i>I (A)</i>	106.81
<i>P_T (W)</i>	74000
<i>Tipo de circuito</i>	Trifásico
<i>S (mm²) Caída de tensión</i>	2.37
<i>S (mm²) Intensidad</i>	XLPE 25
<i>cosφ</i>	1
<i>L (m)</i>	15
<i>Caída de tensión aplicada</i>	5%

La sección más restrictiva es la calculada por intensidad y por lo tanto la sección de este cable será de 25 mm^2 .

**TABLA 5.12.** Datos del circuito variador/motor de la etapa 1.

Circuito	Variador/Motor
<i>Nº receptores</i>	4
<i>P (W)</i>	18500
<i>V (V)</i>	400
<i>I (A)</i>	35.00
<i>P_T (W)</i>	74000
<i>Tipo de circuito</i>	Trifásico
<i>S (mm²) Caída de tensión</i>	0.95
<i>S (mm²) Intensidad</i>	10
<i>cosφ</i>	0.76
<i>L (m)</i>	24
<i>Caída de tensión aplicada</i>	5%

La sección más restrictiva es la calculada por intensidad y por lo tanto la sección de este cable será de 10 mm².

Pero tal y como recoge el reglamento habría que aplicarle un coeficiente de seguridad que sería de 1.3, de manera que la nueva sección sería de 16 mm² puesto que la intensidad ascendería a 45.7 A. Las tablas que se muestran a continuación referentes a los motores tendrán en consideración la normativa.

TABLA 5.13. Datos del circuito cuadro general/variador de la etapa 2.

Circuito	Cuadro general/Variador
<i>Nº receptores</i>	1
<i>P (W)</i>	74000
<i>V (V)</i>	400
<i>I (A)</i>	106.81
<i>P_T (W)</i>	74000
<i>Tipo de circuito</i>	Trifásico
<i>S (mm²) Caída de tensión</i>	2.37
<i>S (mm²) Intensidad</i>	XLPE 25
<i>cosφ</i>	1
<i>L (m)</i>	15
<i>Caída de tensión aplicada</i>	5%



La sección más restrictiva es la calculada por intensidad y por lo tanto la sección de este cable será de 25 mm².

TABLA 5.14. Datos del circuito variador/motor de la etapa 2.

Circuito	Variador/Motor
<i>Nº receptores</i>	4
<i>P (W)</i>	18500 x 1.3
<i>V (V)</i>	400
<i>I (A)</i>	45.7
<i>P_T (W)</i>	74000
<i>Tipo de circuito</i>	Trifásico
<i>S (mm²) Caída de tensión</i>	1.23
<i>S (mm²) Intensidad</i>	16
<i>cosφ</i>	0.76
<i>L (m)</i>	24
<i>Caída de tensión aplicada</i>	5%

La sección más restrictiva es la calculada por intensidad y por lo tanto la sección de este cable será de 16 mm².

TABLA 5.15. Datos del circuito cuadro general/variador de la etapa 3.

Circuito	Cuadro general/Variador
<i>Nº receptores</i>	1
<i>P (W)</i>	222000
<i>V (V)</i>	400
<i>I (A)</i>	320.43
<i>P_T (W)</i>	222000
<i>Tipo de circuito</i>	Trifásico
<i>S (mm²) Caída de tensión</i>	7.12
<i>S (mm²) Intensidad</i>	XLPE/ERP 150
<i>cosφ</i>	1
<i>L (m)</i>	15
<i>Caída de tensión aplicada</i>	5%

La sección más restrictiva es la calculada por intensidad y por lo tanto la sección de este cable será de 150 mm².

**TABLA 5.16.** Datos del circuito variador/motor de la etapa 3.

Circuito	Variador/Motor
<i>Nº receptores</i>	12
<i>P (W)</i>	18500 x 1.3
<i>V (V)</i>	400
<i>I (A)</i>	45.7
<i>P_T (W)</i>	222000
<i>Tipo de circuito</i>	Trifásico
<i>S (mm²) Caída de tensión</i>	1.23
<i>S (mm²) Intensidad</i>	16
<i>cosφ</i>	0.76
<i>L (m)</i>	24
<i>Caída de tensión aplicada</i>	5%

La sección más restrictiva es la calculada por intensidad y por lo tanto la sección de este cable será de 16 mm².

TABLA 5.17. Datos del circuito cuadro general/variador de la etapa 4.

Circuito	Cuadro general/Variador
<i>Nº receptores</i>	1
<i>P (W)</i>	370000
<i>V (V)</i>	400
<i>I (A)</i>	534.05
<i>P_T (W)</i>	370000
<i>Tipo de circuito</i>	Trifásico
<i>S (mm²) Caída de tensión</i>	11.86
<i>S (mm²) Intensidad</i>	XLPE 300
<i>cosφ</i>	1
<i>L (m)</i>	15
<i>Caída de tensión aplicada</i>	5%

La sección más restrictiva es la calculada por intensidad y por lo tanto la sección de este cable será de 300 mm².

El tipo de aislamiento empleado será XLPE o bien ERP porque la temperatura máxima en el conducto es mayor (90 °C) que la del aislamiento de PVC (70 °C).



➤ Transporte del cableado

Para transportar los cables que van desde los distintos dispositivos hasta el cuadro general, se ha hecho uso de la distancia comprendida entre el túnel aerodinámico y el suelo (1.5 metros en la parte más baja), para instalar debajo del túnel una bandeja porta cables. La razón por la cual se ha optado por esta solución de diseño ha sido que desde el punto de vista del mantenimiento y reparación, los cables son accesibles sin necesidad de desmontar ningún elemento y esto trae como consecuencias ahorro de tiempo y de presupuesto. El inconveniente radica en que hay una parte de los circuitos del túnel que pasan por el conducto extraíble de la cámara de ensayos y del panel *honeycomb* (iluminado 1, iluminado 2, circuito de emergencia y punto de conexión 1 y 2). Se propone como solución pasar los cables por encima de los conductos extraíbles, de manera que estos no interfieran en la conversión de la cámara cerrada a la abierta, ni viceversa, ni tampoco en las labores de mantenimiento del *honeycomb*. Otra solución es la de pasarlos por debajo (a ras de suelo), pero como en el suelo se van a instalar unos raíles guía para el movimiento del conducto libre, habría que enterrar los cables, y como ya se aclaró antes esto originaría costes adicionales en los procesos de mantenimiento y reparación.

El distribuidor elegido para las bandejas ha sido PEMSA, S.A.⁴⁹ (ANEXO 2) por las razones que se presentan a continuación:

- Tiene su sede en Alcalá de Henares, Madrid.
- Tiene certificado *UNE EN 61537*.



5.4 Red equipotencial y toma de tierra

Puesto que se empleará un sistema de distribución TT, por el cuál, tal y como recoge el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT): “Todas las masas de los equipos eléctricos protegidos por un mismo dispositivo de protección, deben ser interconectadas y unidas por un conductor de protección a una misma toma de tierra. Si varios dispositivos de protección van montados en serie, esta prescripción se aplica por separado a las masas protegidas por cada dispositivo”. Siguiendo el reglamento, se realizarán dos redes equipotenciales, una al edificio y otra al túnel aerodinámico.

- Red equipotencial del edificio: durante la construcción del edificio, es necesario desarrollar una red equipotencial. Para ello, en la fase correspondiente al hormigonado habrá que sacar unas salidas eléctricas que estén conectadas al mallado de hierro. Estas salidas deben realizarse cada 10 metros aproximadamente. Posteriormente, deben de conectarse todas las estructuras y elementos metálicos del edificio a estas tomas para que la diferencia de potencial entre ellos sea nula o mínima.
- Red equipotencial del túnel aerodinámico: el aislamiento eléctrico del túnel aerodinámico es fundamental porque todos los elementos estructurales del mismo serán de metal, y por lo tanto habrá que colocar una o varias tomas a tierra. La toma a tierra consiste en una unión de los elementos metálicos que, mediante un cable de sección adecuada, permita evitar que se generen diferencias de potencial entre las estructuras metálicas. Si se colocara una sola toma a tierra, se estaría generando una espira que daría como consecuencia la introducción de ruido en las señales que provienen de los instrumentos de medida. La solución a este problema es dotar de toma a tierra a todos los elementos metálicos, de forma que todos converjan en un



único cable para que la diferencia de potencial entre todos ellos sea 0 o muy cercana a 0, esto sería la red equipotencial del túnel.

Una vez realizadas ambas redes equipotenciales deberán conectarse entre ellas para que no haya diferencia de potencial entre ningún elemento del túnel ni del edificio.

5.5 Conexión eléctrica de los circuitos

➤ Conexión eléctrica de los servicios auxiliares, tomas de corriente del SAI y el SAI

El SAI alimenta a las tomas de corriente calientes de los puntos de conexión 1 y 2, y a su vez está alimentado por el cuadro general, mientras que el servicio auxiliar que competen al túnel aerodinámico está compuesto por los siguientes circuitos: iluminación 1, iluminación 2, iluminación de emergencia y las tomas de corriente frías de los puntos de conexión 1, 2 y 3. Las conexiones eléctricas de estos circuitos estarán formadas por un interruptor automático y un interruptor diferencial.

- Interruptor automático: un interruptor automático es un elemento de seguridad eléctrica, con capacidad de interrumpir corrientes sin ninguna actuación externa. El principal objetivo del interruptor es proteger las líneas eléctricas de sobre intensidades debidas a cortocircuitos o sobrecargas de la red.
- Interruptor diferencial: un interruptor diferencial es un dispositivo electromecánico que se coloca en las instalaciones eléctricas con el fin de proteger a las personas de las derivaciones causadas por faltas de aislamiento entre los conductores activos y tierra o masa de los aparatos.

En la *FIGURA 5.7* se muestra el conjunto interruptor automático/interruptor diferencial de la instalación, y en la *FIGURA 5.8* se ilustra el esquema de instalación para los distintos casos.

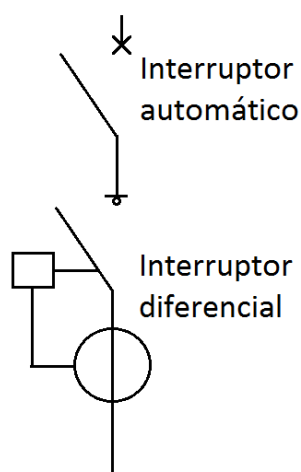


FIGURA 5.7. Conjunto interruptor automático/interruptor diferencial.

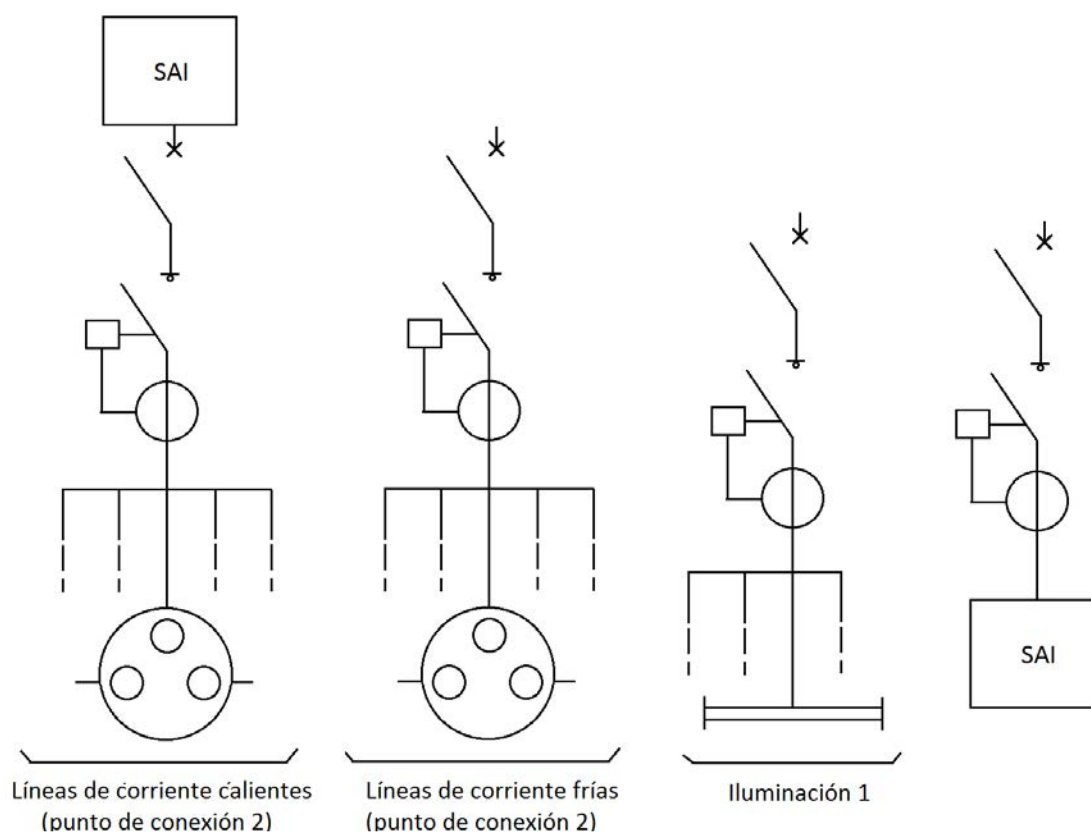


FIGURA 5.8. Esquema de la instalación de las líneas de corriente, luminarias con dos fluorescentes y SAI.

En lo referido a las líneas de corriente de los puntos de conexión 1 y 3, serán iguales a la del punto de conexión 2, y lo único que cambiará será el número de terminales. Lo mismo le ocurrirá al iluminado 2 y al iluminado de emergencia con respecto al iluminado 1.

En lo referido al circuito de emergencia, el propio fabricante aporta la instalación del dispositivo (*FIGURA 5.9*).

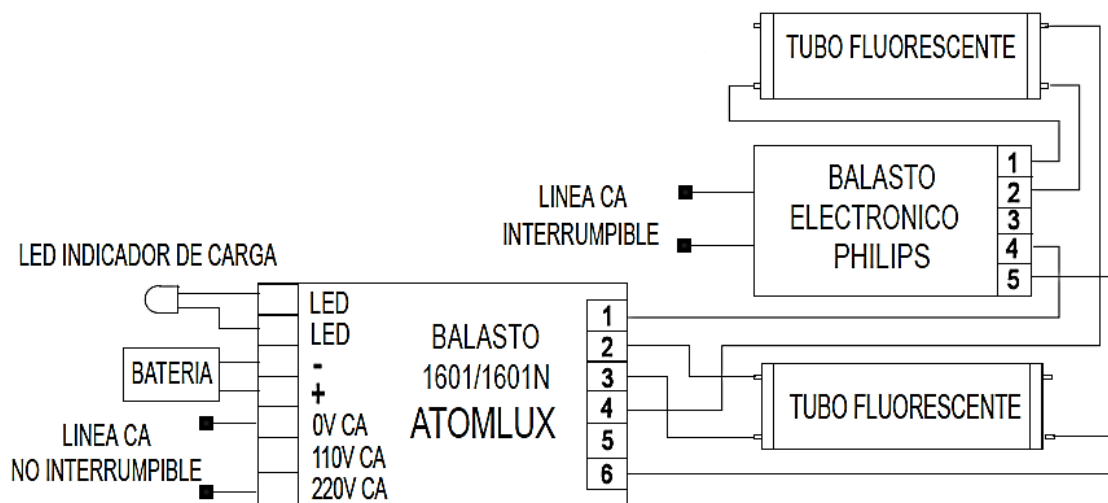


FIGURA 5.9. Esquema de la instalación eléctrica del sistema de emergencia permanente.

➤ Conexión de los variadores

La conexión eléctrica de estos dispositivos estará compuesta por un interruptor automático, un relé diferencial y un toroidal, pero además, los variadores estarán protegidos por otro interruptor automático al igual que el SAI y los servicios auxiliares (estos esquemas de instalación se mostrarán en el apartado correspondiente al cuadro general). A continuación se describen las características de tales elementos:

- Variador: es el encargado de regular la velocidad a la que gira el motor por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al mismo. En la FIGURA 5.10 se muestra un esquema de este tipo de dispositivos.

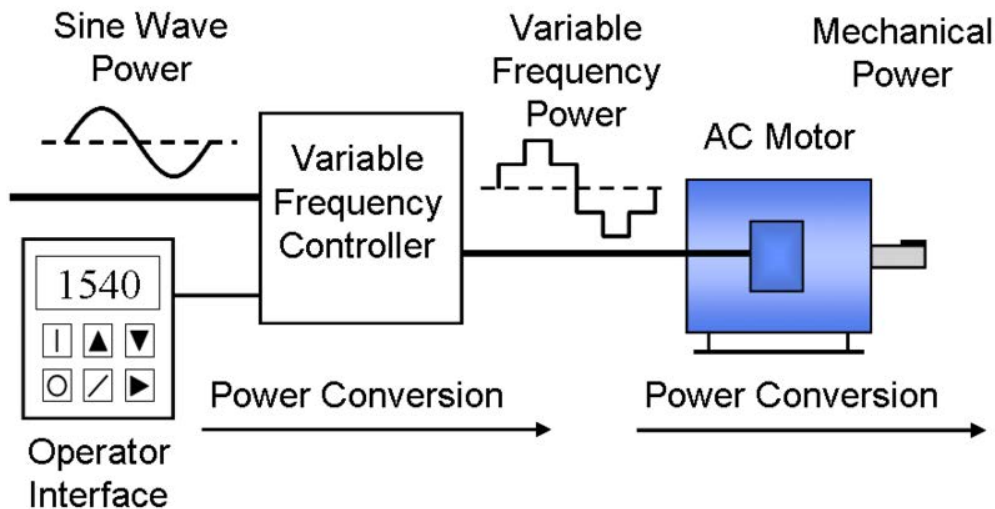


FIGURA 5.10. Diagrama de un sistema VFD (Variable Frequency Drive).

Este elemento permitirá elevará el factor de potencia del circuito variador/cuadro general a la unidad, sin embargo, no podrá hacer lo mismo con el factor de potencia del circuito ventilador/variador porque el motor de inducción contiene bobinas que aportarán una energía reactiva. El factor de potencia de este circuito se ha calculado en el apartado correspondiente al cableado eléctrico.

- Relé diferencial: un relé diferencial es un dispositivo electrónico de protección contra defectos a tierra, de manera que posibilita el control de la evolución del aislamiento a tierra en nuestra instalación de red alterna, posibilitando la aplicación de las medidas necesarias para evitar el deterioro del aislamiento de nuestra instalación.
- Toroidal: estos dispositivos se emplean junto con los relés diferenciales. Por ellos, pasan los conductos activos, los toroidales realizan la

suma diferencial de las intensidades vectoriales, detectando así una posible intensidad de fuga.

En la *FIGURA 5.11* se puede observar el conjunto de dispositivos, y en la *FIGURA 5.12* se presenta el esquema de instalación del elemento involucrado.

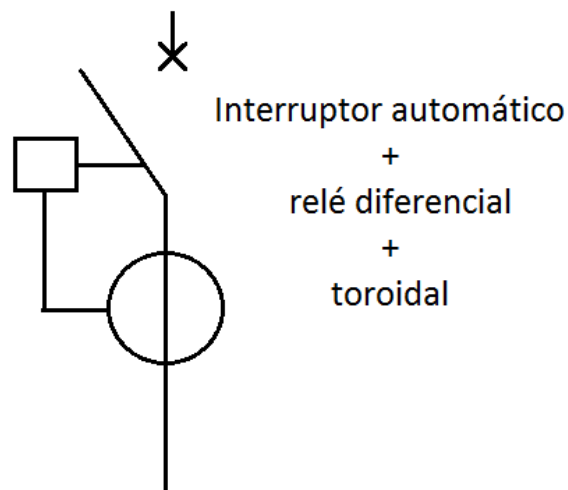


FIGURA 5.11. Conjunto interruptor automático/relé diferencial/toroidal.

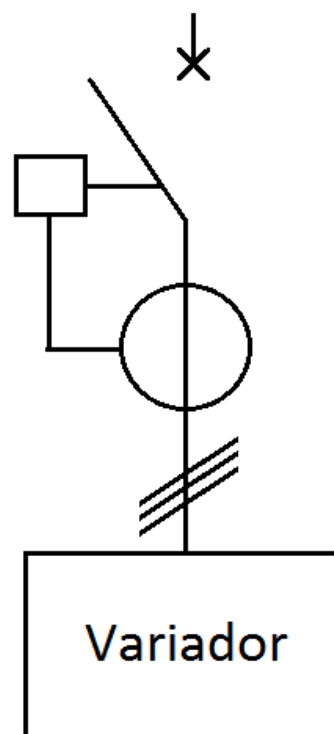


FIGURA 5.12. Esquema de la instalación para el SAI y los variadores.

➤ Conexión eléctrica de los motores

En la conexión eléctrica de los motores se empleará el variador (cuya conexión se ha descrito anteriormente), interruptor automático y disyuntor magneto térmico. A continuación se detalla su función:

- Disyuntor: es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico (efecto Joule). El dispositivo consta, por tanto, de dos partes, un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga. Al igual que los fusibles, los interruptores magneto térmicos protegen la instalación contra sobrecargas y cortocircuitos, es decir, conductores elementos de mando y aparatos conectados a los diferentes circuitos.

Una vez definidos los diferentes dispositivos que conforman el circuito se muestra un esquema del circuito en la *FIGURA 5.13*.

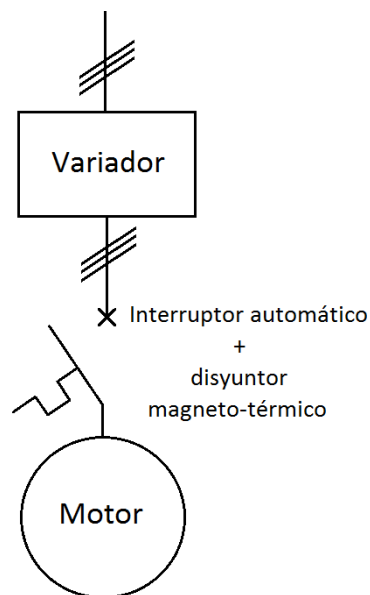


FIGURA 5.13. Esquema de la instalación eléctrica de los motores.

5.6 Distribución del cuadro general

El cuadro general estará situado en las inmediaciones de la planta de potencia a una distancia apropiada para poder extraer la matriz de ventiladores sin problemas. El armario seleccionado ha sido un armario monobloque de acero inoxidable 304L, el *Spacial NSYSMX 201040*, cuyas dimensiones son 2000 mm de altura, 1000 mm de ancho y 400 mm de profundidad cuyo precio es de 3925.27 €, en el ANEXO 2 se recogen el resto de sus características técnicas.

➤ Conexión del cuadro general con la red

En la FIGURA 5.14 se recoge el esquema de conexión del cuadro general con el suministro de electricidad por parte de la compañía encargada hasta la derivación.

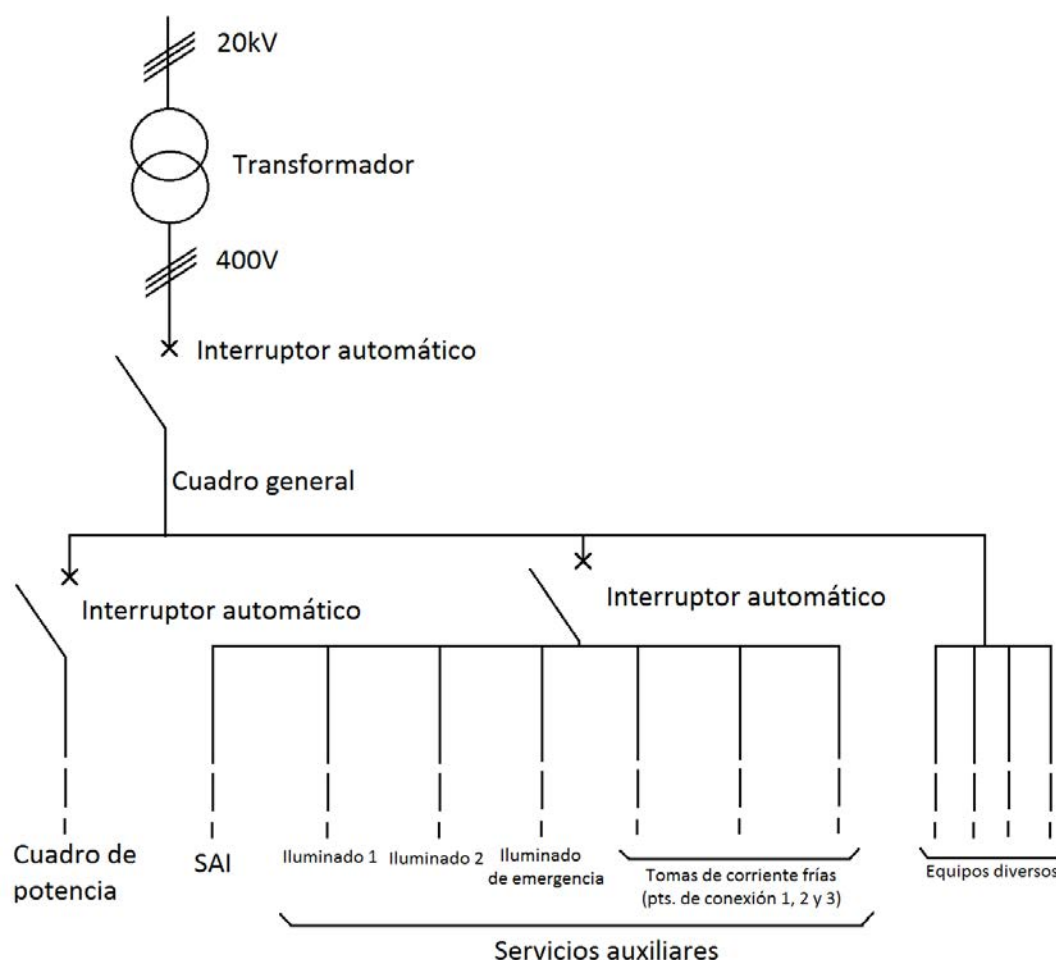


FIGURA 5.14. Esquema de las conexiones del cuadro general.

➤ Distribución del cuadro general

El cuadro general se distribuirá en tres fases: cuadro de potencia, servicios auxiliares y SAI y otra etapa correspondiente a equipos diversos que está fuera del alcance del proyecto, por lo que sólo se estudiarán las primeras. Las siguientes figuras (*FIGURAS 5.15 – 5.17*) reflejan los esquemas de instalación de las diferentes fases que competen al túnel.

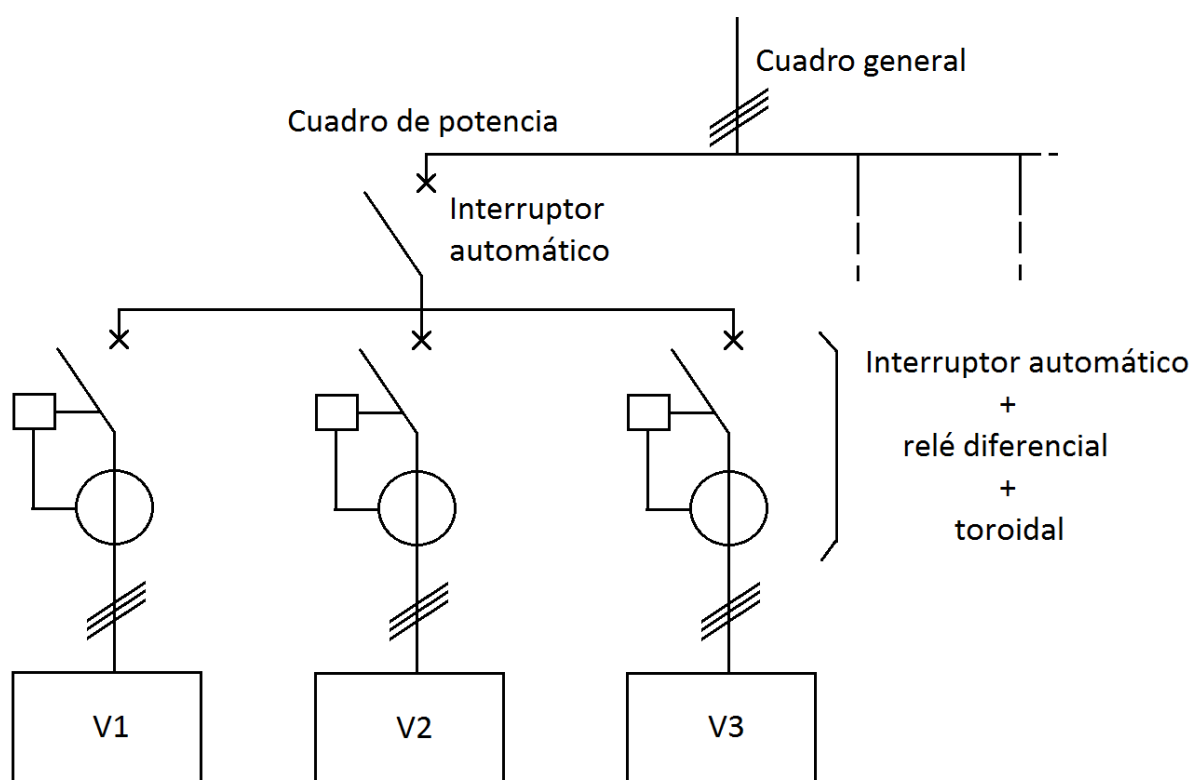


FIGURA 5.15. Esquema del cuadro de potencia del túnel aerodinámico.

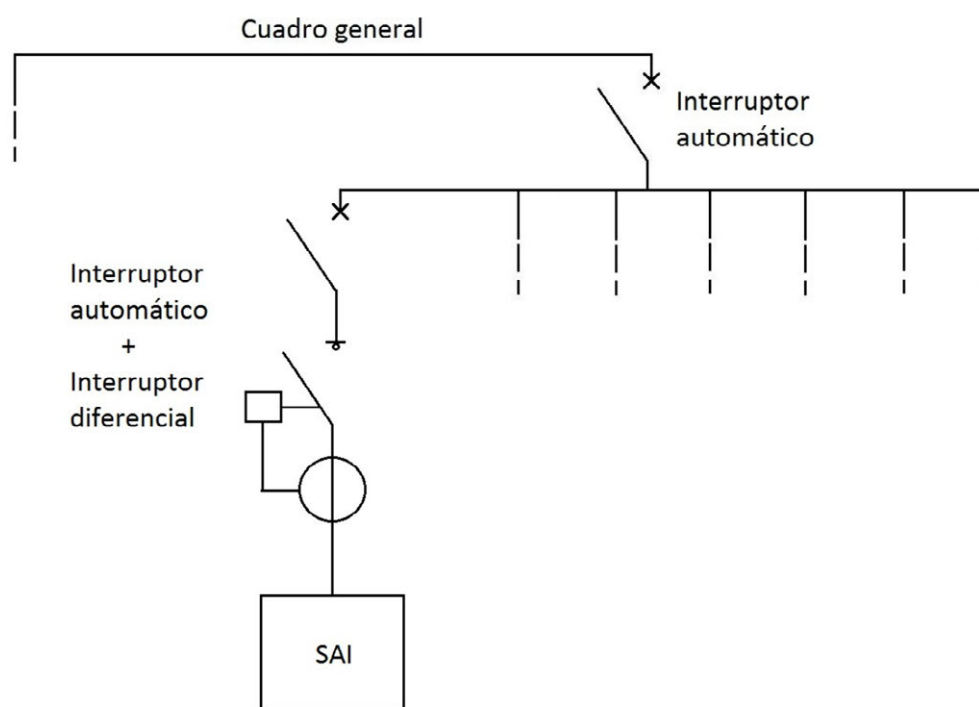


FIGURA 5.16. Esquema del SAI del túnel aerodinámico.

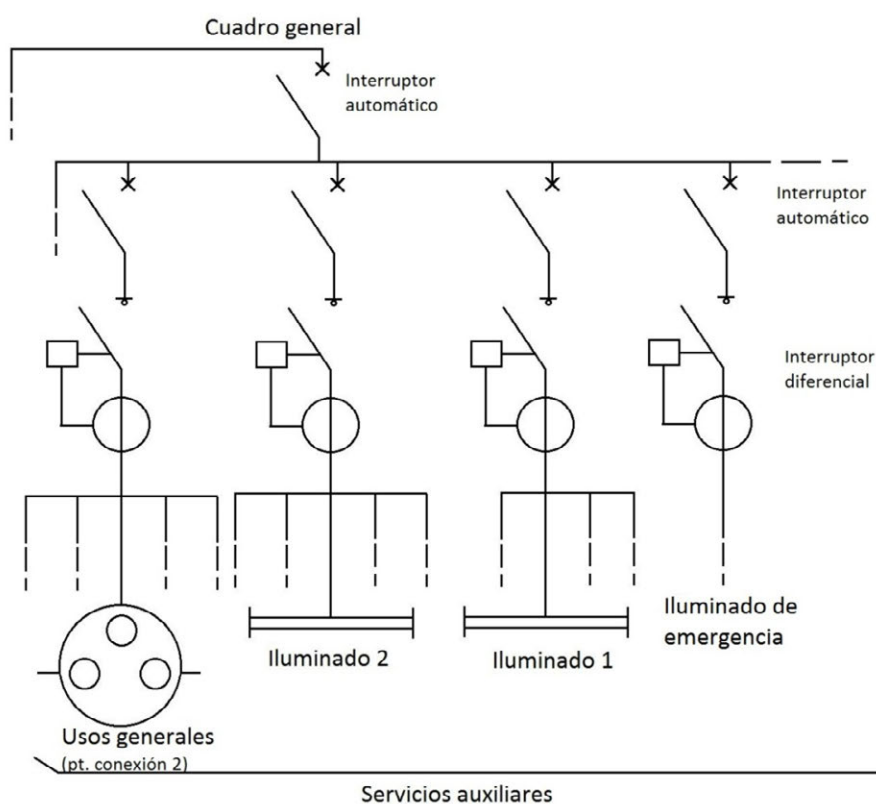


FIGURA 5.17. Esquema de los servicios auxiliares del túnel aerodinámico.



5.7 Elección de los dispositivos para las diferentes conexiones eléctricas, estimación de costes e instalación final

➤ Elección de los dispositivos para los servicios auxiliares, tomas de corriente del SAI y SAI

Para la elección de estos dispositivos se ha escogido el fabricante Schneider⁴⁶ para toda la instalación debido a su alta fiabilidad y a que ha sido el fabricante cuyo catálogo de productos es más accesible además de contar con una lista de precios actualizada que permitirá hacer un balance de los costes a tiempo real.

De entre la gran variedad de interruptores automático se ha escogido el 2P 25 A modelo *iK60N ref.: A9K17225* cuyo precio es de 28.32 €. Sabiendo que la cantidad de circuitos que deben llevar equipado este interruptor en concreto es de 8 (líneas de usos generales de los puntos de conexión 1,2 y 3, líneas del SAI (2), alumbrado (2) y alumbrado de emergencia) el precio de todos ellos asciende a 226.56 € (ANEXO 2).

En cuanto a los interruptores diferenciales, se han elegido los *iID ref.: A9R60240* de 2P 25 A y cuyo precio unitario es de 66.21 € y multiplicado por 8 (líneas de usos generales de los puntos de conexión 1,2 y 3, líneas del SAI (2), alumbrado (2) y alumbrado de emergencia) conforman un total de 529.68 € (consultar ANEXO 2 para ver las especificaciones).

Para el caso del sistema de alimentación ininterrumpido se ha seleccionado el modelo *Symmetra LX SYA8K81*, que ofrece una potencia de 5600 W y su precio es de 14513 €, el resto de características pueden consultarse en el ANEXO 2. Para sus protecciones se han elegido *iC60H-M ref.: A9F85240* de 2P, 40 A y cuyo precio es de 104.82 € para el caso del interruptor automático y en cuanto al interruptor diferencial, se ha designado el *iID ref.: A9R84240* de 2P, 40 A y 166.91 €.

Por último se ha seleccionado el interruptor automático de regulación del SAI y los servicios auxiliares, que ha sido el *iC60N ref.: A9F75263* de 2P, 63 A y



236.8 €. El precio total de los dispositivos correspondientes a los servicios auxiliares, SAI y líneas de corriente del SAI suman un total de unos 16000 €.

➤ Elección de los dispositivos para el cuadro de potencia

- *Cuadro general/variador*

Para el circuito cuadro general/variador se ha elegido el interruptor automático *Masterpact NT06 H1* de 3P apto para intensidades desde 400 A hasta 630 A y cuyo precio es de 6103.04 € (una unidad) para la regulación de los tres variadores. Posteriormente se han escogido los interruptores automáticos correspondientes a cada variador, siendo los modelos seleccionados el *Compact NSX160F LV430631* de 3 x 125 A y un precio de 616.9 €/unidad (para los variadores 1 y 2 por cuyos cables circula una corriente de 107 A) y el *Compact NSX400N LV432693* de 400 A y 2759.33 € (para el variador 3 por cuyos cables circula una corriente de 320 A). En cuanto a los relés diferenciales, se ha asignado el *RH197M* alimentado a 400V CA cuyo precio es de 390.03 €/unidad (3 unidades), y por último, los toroidales *MA120 ref.: 50440* de 120mm de diámetro interior y 434.86 €/unidad (3 unidades).

Para finalizar se han seleccionado los variadores: *ATV71HC25N4* para la etapa 3 y *ATV71HD90N4* para las etapas 1 y 2. Su precio, a pesar de no estar en el catálogo, se estima en unos 15000 € para el variador 1 y 2 y en 20000 € para el variador 3. Las características técnicas pueden consultarse en el ANEXO 2.

El precio total de los elementos de protección involucrados entre los variadores y el cuadro general es de unos 62600 €.

- *Variador/motor*

El interruptor automático elegido ha sido el *iC60N ref.: A9F79363* de calibre 63 A y 269.36 €/unidad (20 unidades, tantas como motores). Y el disyuntor



magnético seleccionado ha sido el *GV3-L50* de 22kW y 50 A (ANEXO 2). Siendo el precio final de 5387.2 €, sin tener en consideración los disyuntores ya que no aparece su precio en el catálogo, pero estos se pueden estimar en unos 400 €/unidad, lo que hace un total de 13400 €.

➤ Elección de los dispositivos del cuadro general

- *Transformador/cuadro general*

Para la protección del cuadro general se ha asignado el interruptor automático *Masterpact NW16 N1* de 3P apto para intensidades desde 800 hasta 1600 A cuyo precio es de 9861.68 €.

➤ Esquema de la instalación completa y estimación del coste total

Teniendo en cuenta que los precios varían dependiendo de la forma de pago, de los acuerdos a los que lleguemos con la empresa suministradora, la cantidad de productos que compremos al año, etc. Se ha realizado una estimación del presupuesto que conforma un total de unos 106000 €.

Por último, una vez determinado el tipo de protección para cada elemento, haber elegido el dispositivo oportuno y haber estimado los costes, se presenta una figura (*FIGURA 5.18*) de la instalación completa.

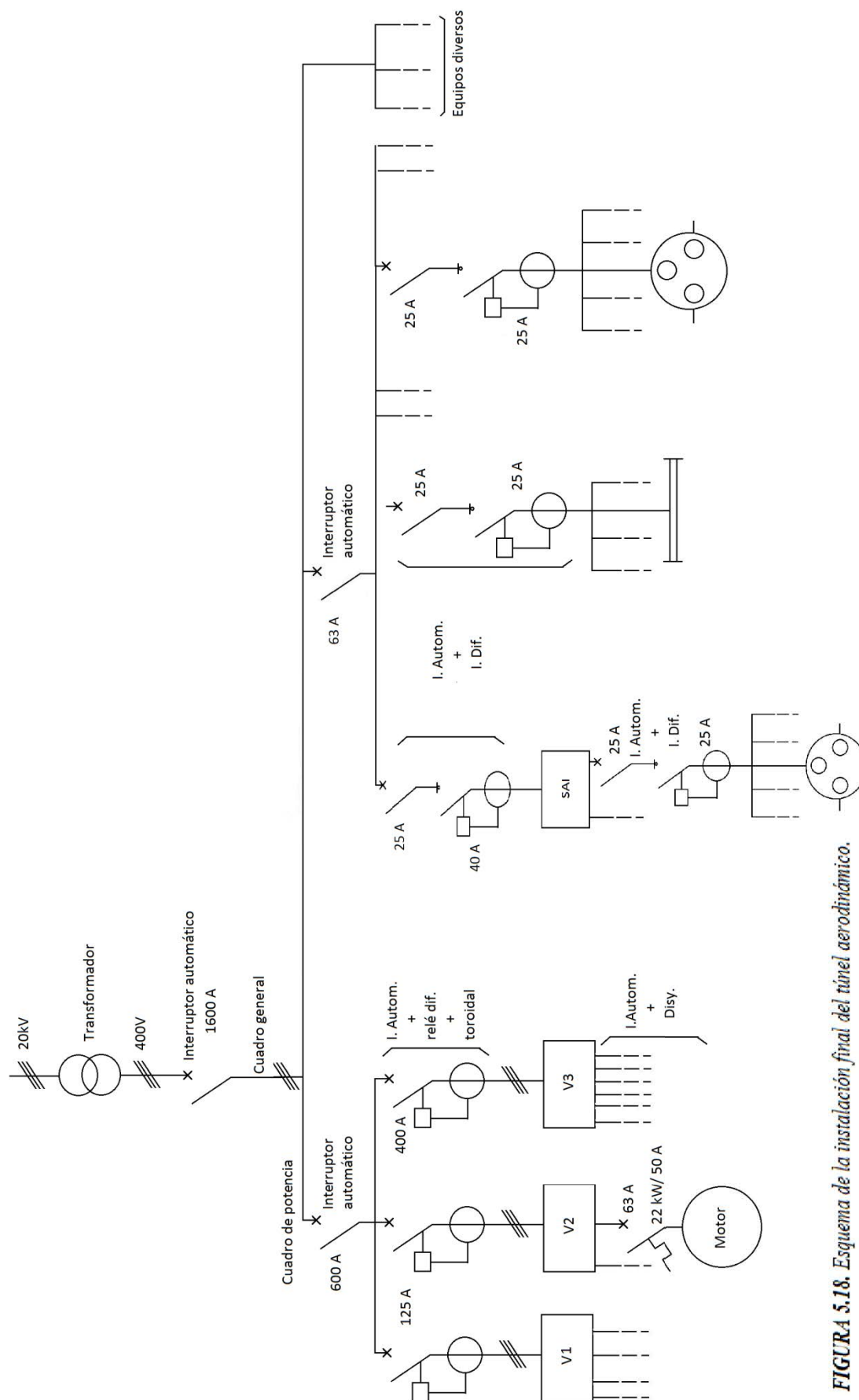


FIGURA 5.18. Esquema de la instalación final del túnel aerodinámico.



6. REFERENCIAS



(Página intencionadamente en blanco)



6 REFERENCIAS

1. BARLOW, RAE, POPE. *Low-speed wind tunnel testing*.
2. JORGE COLMAN LERNER and ULFILAS BOLDES. *Wind tunnels and experimental fluid dynamics research*.
3. www.blurtit.com
4. www.rtri.or.jp/rd/maibara-wt/English/index.html
5. www.eswirp.eu
6. www.thelivingmoon.com
7. encyclopedia2.thefreedictionary.com
8. ALAN POPE. *Low-speed wind tunnel testing*.
9. www.automotiveit.com
10. wings.avkids.com
11. ladiesfirsttracing.com
12. static.ddmcdn.com
13. www.grc.nasa.gov
14. ec.europa.eu
15. S.M.GORLIN and I.I.SLEZINGER. *Wind tunnels and their instrumentation*.
16. http://awt.grc.nasa.gov/students_TunnelHistory.aspx
17. www.symscape.com
18. www.aerospaceweb.org
19. www.dgt.es
20. WHITEHEAD, L.G., WU, L.Y. and WATERS, M. H. L. *Contracting ducts of finite length*, Aeronautical Quarterly, February 1951, 2, 254.
21. GIBBINGS, J. C., and DIXON, J. R. *Two-dimensional contracting duct flow*. Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics 1951, 10 part 1.
22. JORDINSON, R. *Design of wind tunnel contractions*. Aircraft Engineering, October 1961, 294.
23. JORDINSON, R. and RODGER, J. G. *On an approximation to the flow through axisymmetric contracting duct*. Aeronautical Quarterly, February 1981, 32, 72.
24. STRATFORD, B. S. *The Prediction of Separation of the turbulent Boundary Layer*. Journal of Fluid Mechanics, 1959, 5, 1.



25. wings.avkids.com
26. SKREBKOV, G.P., *Hydraulic resistance of rectangular canl beds with the walls of different roughnesses*, Izv. VUZov. Energ. , no. 12, 110-115, 1978.
27. SKREBKOV, G.P., *Canals and beds with variable friction around the perimeter and their hydraulic calculation*, in *Hydraulics and Heat Transfer During Uniform Motion of Liquid in Channels*, pp. 3-28, Cheboksary, 1980.
28. SKREBKOV, G.P. and LOZHKIN, S. N. *Application of the LeShatelier principle to the calculation of a uniform flow in packed rods channels*, Teplofiz. Vys. Temp. , vol. 23, no. 4, 748-753, 1985.
29. NIKURADSE, I. *Laws governing turbulent flow in smooth tubes*, in *Probl. Turbulentnosti*, M. A. Velikanov and N. G. Shveikovsky, Eds., pp. 75-150, ONTI Press, 1936.
30. TEPLOV, A. V. *On the hydraulic calculation of asbestos-cement tubes*. Vodosnabzh. Sanit. Tekh. , no. 1, 13-16, 1955.
31. ALTSHUL, A. D. *Hydraulic Resistance*, Nedra Press, Moscow, 1982, 224 p.
32. SAMOILENKO, L. A. *Investigation of the Hydraulic Resistances of Pipelines in the Zone of Transition from Laminar into Turbulent Motion*, Thesis (Cand. Of Technical Science), Leningrad, 1968, 172 p.
33. FRANK M. WHITE, *Mecánica de Fluidos*, McGraw-Hill de Mexico, 1983.
34. PRANDTL, L. *Attaching a Steady Stream in Wind Tunnels*, NACA TM 726, Oct. 1933.
35. <http://4.bp.blogspot.com>.
36. NEKRASOV, B. B., *Hydraulics*, 1954, 290 p.
37. STERHEN M. BATILL, ROBERT C. NELSON, DEPARTMENT OF AEROSPACE AND MECHANICAL ENGINEERING UNIVERSITY OF NOTRE DAME. *Low Speed, Indraft Wind Tunnels*.
38. TEMPLIN, J. T and RAIMONDO, S. *Experimental Evaluation of Test Section Boundary Interference Effects in Road Vehicles Tests in Wind Tunnels*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics; 22; 129-148.
39. G. DIMITRIADIS. *Experimental Aerodynamics*. Lecture 3: Wind Tunnel Corrections.



40. KHANZHONKOV, V. I. and TALIEV, V. I., *Reduction of resistance in square side branches by means of guide vanes*, Tekhn. Otchyoty, no. 110, 16, 1947.
41. VINAYAK KURLKARNI, NIRANJAN SAHOO, SANDIP D. CHAVAN. *Simulation of honeycomb-screen combination for turbulence management in a subsonic wind tunnel*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.
42. KAVEH GHORBANIAN, MOHAMMAD REZA SOLTANI, MOJTABA DEHGHAN MANSHADI. *Experimental investigation on turbulence intensity reduction in subsonic wind tunnels*. Aerospace Science and Technology.
43. I.E.IDELCHIK, *Handbook of hydraulic resistance*.
44. NANJUNDA SWAMI, Y.S., *On the design of a two-dimensional contracting channel*, Journal of the Aeronautical Sciences, Vol. 8, June 1961, pp. 500-501.
45. www.sodeca.com.
46. www.schneider-electric.com.
47. www.prysmian.com.
48. www.generalcable.com.
49. www.pemsa-rejiband.com.



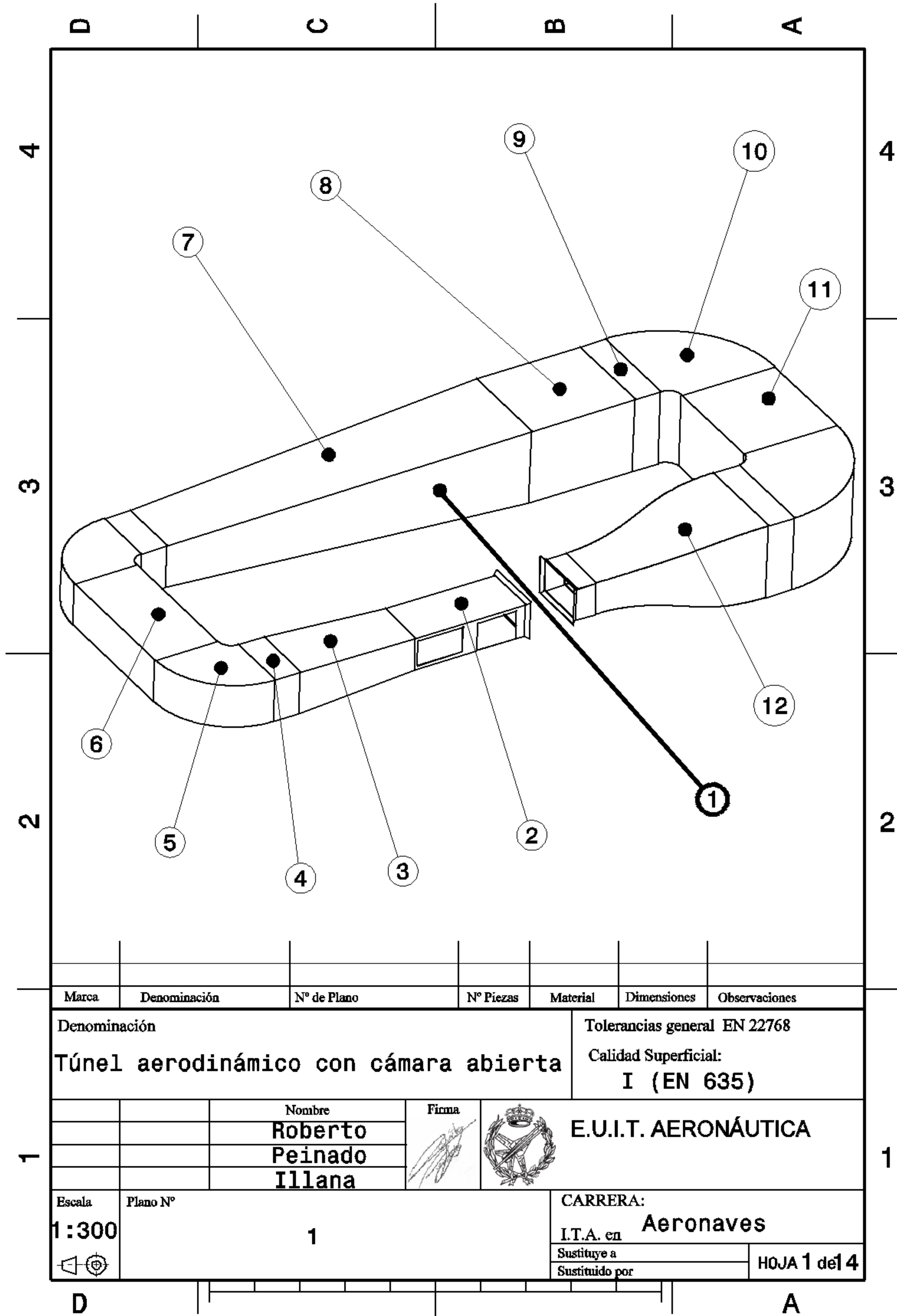
(Página intencionadamente en blanco)



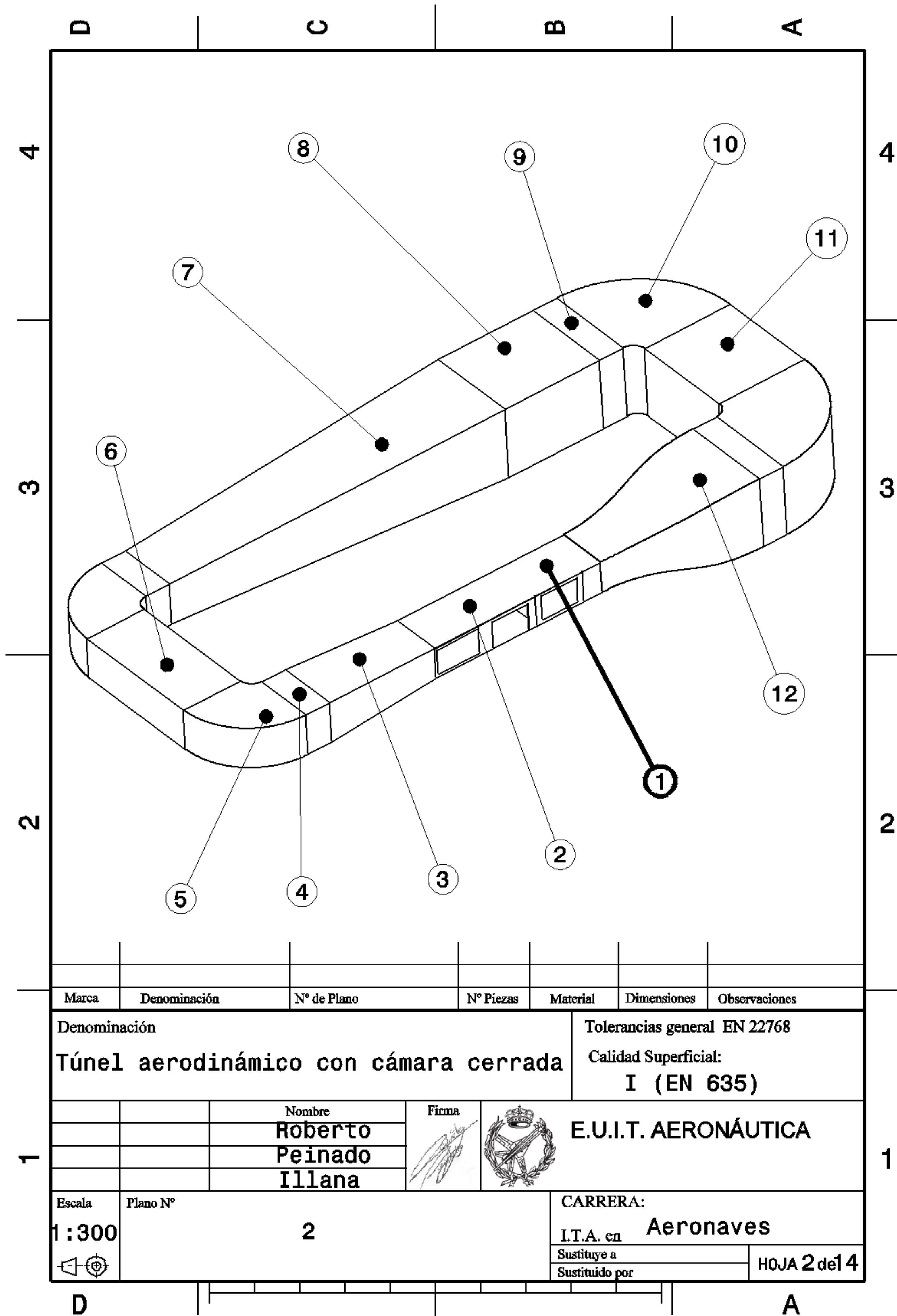
ANEXO 1. PLANOS



(Página intencionadamente en blanco)



Marca	Denominación	Nº de plano	Nº de piezas	Material	Dimensiones (m)	Observaciones
1	Túnel aerodinámico con cámara abierta	1	1	N/A	54 x 23 x 6	
2	Cámara de ensayos abierta	3	1	N/A	14 x 4.4 x 3	
3	Difusor 1	5	1	Contrachapado finés	9.16 x 4.8 x 3.3	
4	Conducto 2 y 4	6	2	Contrachapado finés	4.8 x 3.3 x 2	
5	Codo 2 y 3	7	2	Contrachapado finés	5.8 x 5.8 x 3.3	
6	Conducto 3	8	1	Contrachapado finés	10.4 x 4.8 x 3.3	
7	Difusor 2	9	1	Contrachapado finés	27.5 x 7.2 x 5.7	
8	Conducto de los ventiladores	10	1	Contrachapado finés	8 x 7.2 x 5.7	
9	Conducto 1 y 5	11	2	Contrachapado finés	7.2 x 5.7 x 2	
10	Codo 1 y 4	12	2	Contrachapado finés	8.2 x 8.2 x 5.7	
11	Conducto 6	13	1	Contrachapado finés	8 x 7.2 x 5.7	
12	Contracción	14	1	Contrachapado finés	12.32 x 7.2 x 5.7	



Marca	Denominación	Nº de plano	Nº de piezas	Material	Dimensiones	Observaciones
1	Túnel aerodinámico con cámara cerrada	2	1	N/A	54 x 23 x 6	
2	Cámara de ensayos cerrada	4	1	N/A	14 x 4 x 2.5	
3	Difusor 1	5	1	Contrachapado finés	9.16 x 4.8 x 3.3	
4	Conducto 2 y 4	6	2	Contrachapado finés	4.8 x 3.3 x 2	
5	Codo 2 y 3	7	2	Contrachapado finés	5.8 x 5.8 x 3.3	
6	Conducto 3	8	1	Contrachapado finés	10.4 x 4.8 x 3.3	
7	Difusor 2	9	1	Contrachapado finés	27.5 x 7.2 x 5.7	
8	Conducto de los ventiladores	10	1	Contrachapado finés	8 x 7.2 x 5.7	
9	Conducto 1 y 5	11	2	Contrachapado finés	7.2 x 5.7 x 2	
10	Codo 1 y 4	12	2	Contrachapado finés	8.2 x 8.2 x 5.7	
11	Conducto 6	13	1	Contrachapado finés	8 x 7.2 x 5.7	
12	Contracción	14	1	Contrachapado finés	12.32 x 7.2 x 5.7	

D

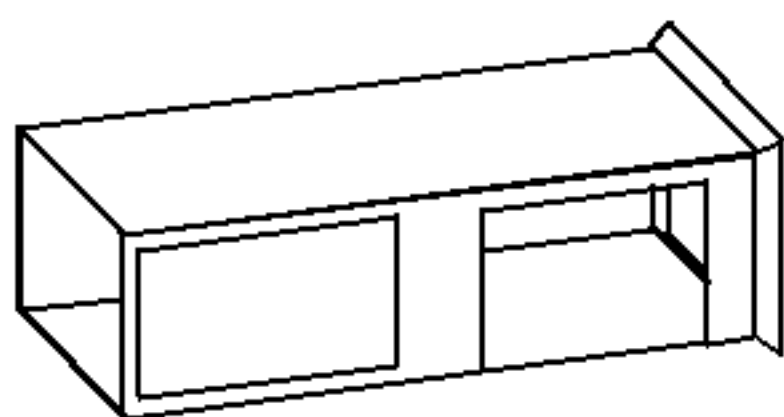
C

B

A

4

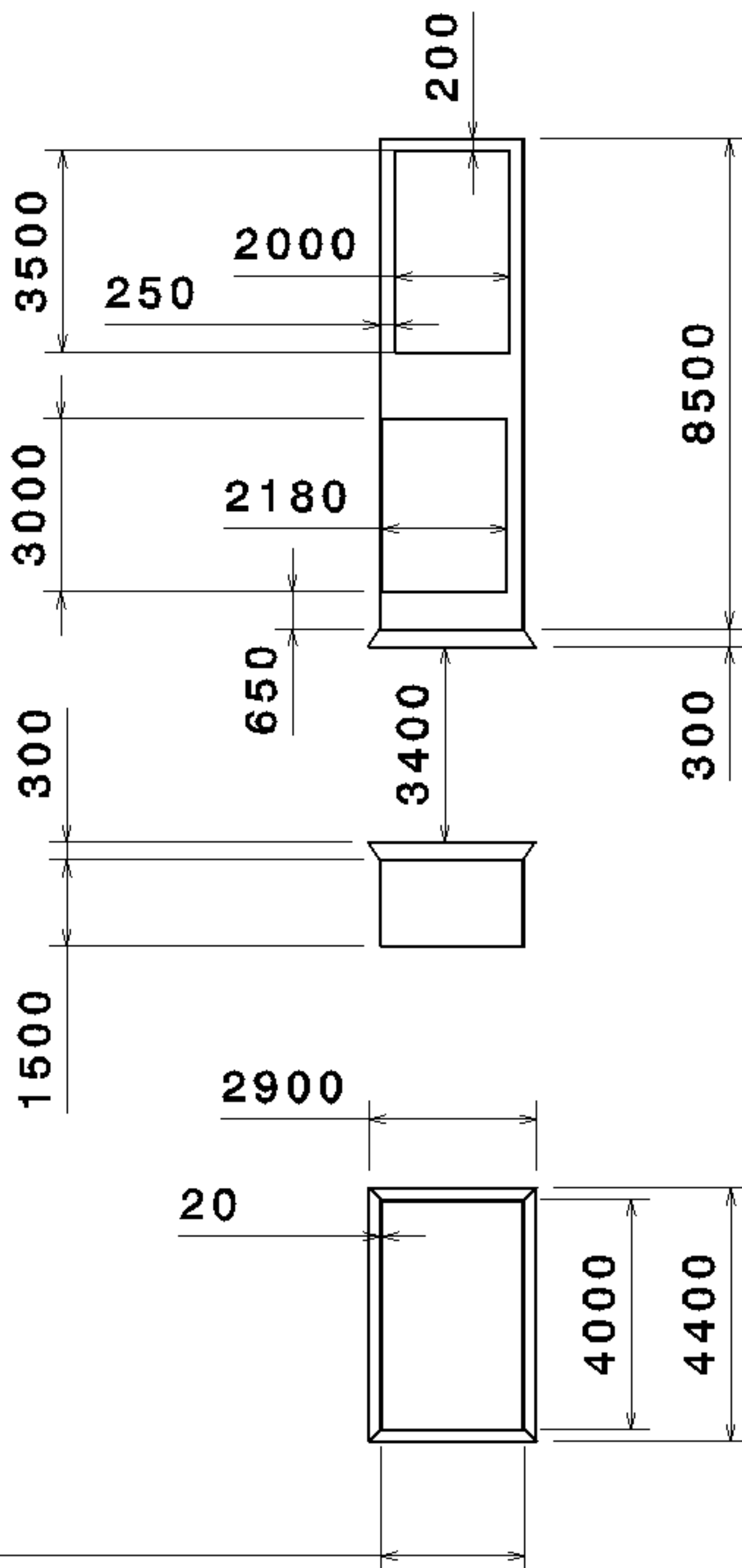
4



Isometric view
Scale: 1:200

3

3



2

2

2500

Marca

Denominación

Nº de Plano

Nº Piezas

Material

Dimensiones

Observaciones

Denominación

Cámara de ensayos abierta

Tolerancias general EN 22768

Calidad Superficial:

I (EN 635)

Nombre

Firma

Roberto
Peinado
Illana



E.U.I.T. AERONÁUTICA

Escala

Plano Nº

1:150

3

CARRERA:

Aeronaves

I.T.A. en

Sustituye a

Sustituido por

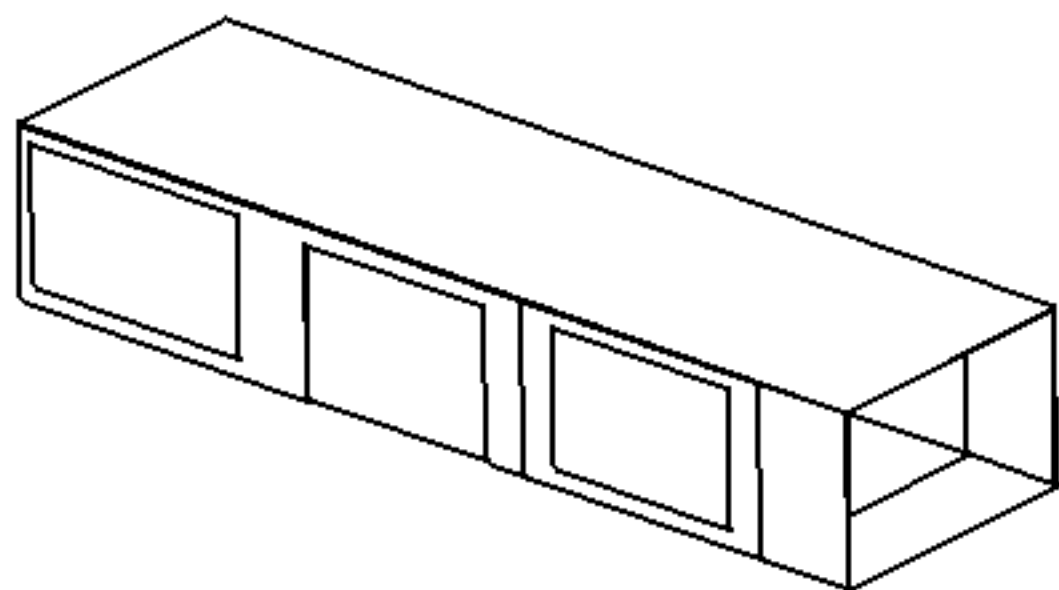
HOJA 3 de 14

D

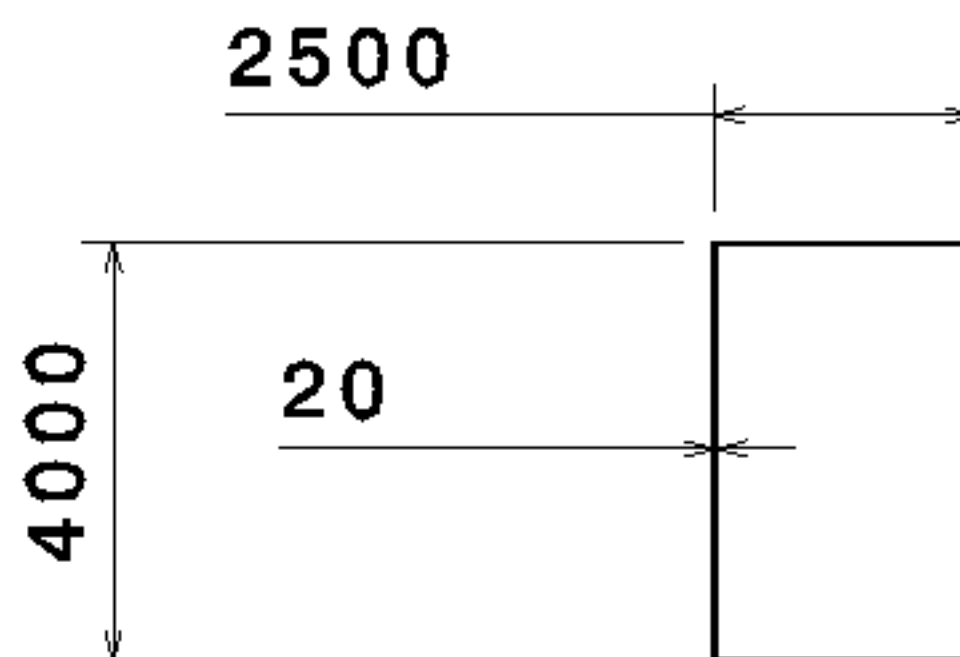
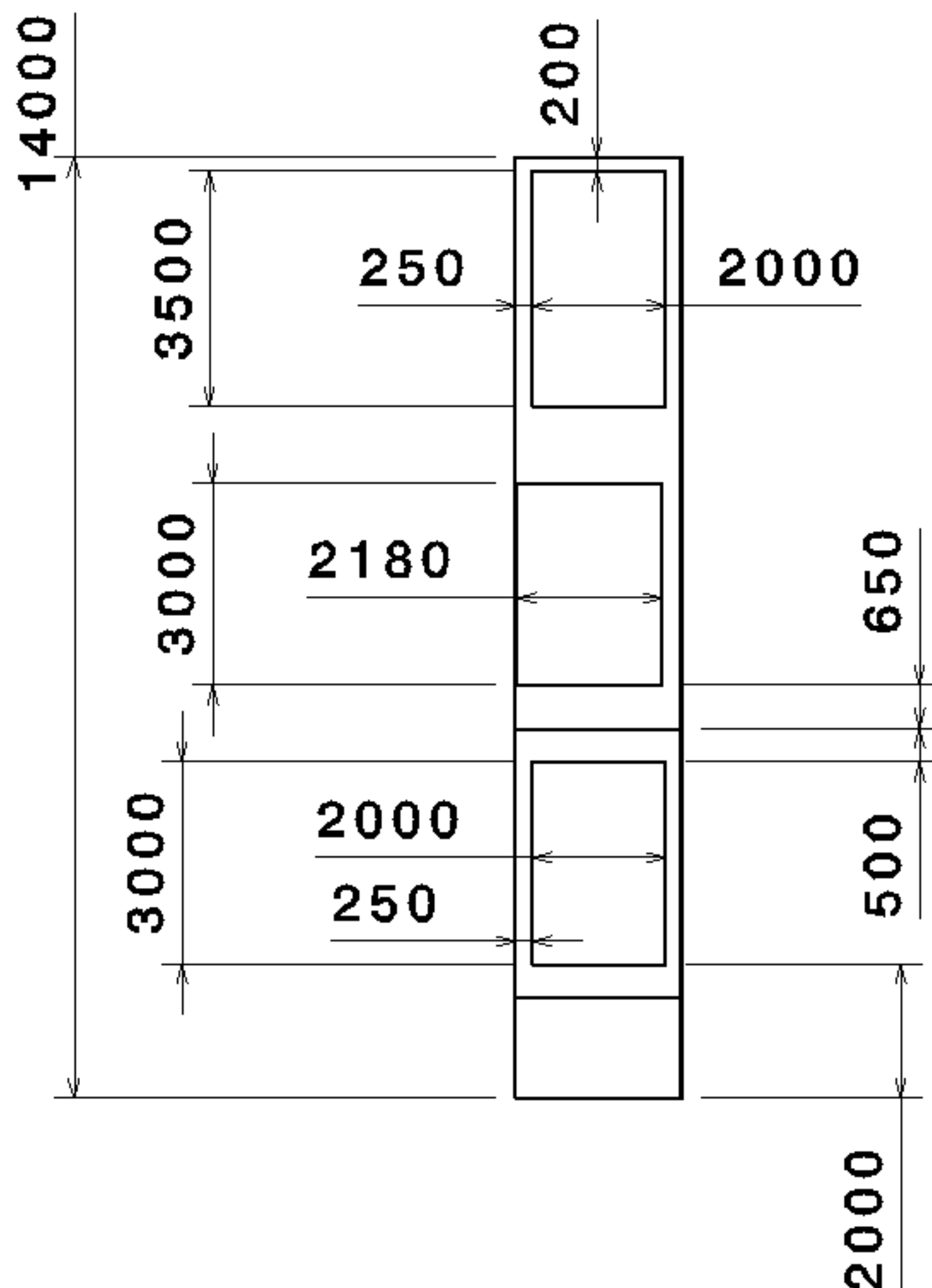
A




1

1



Isometric view
Scale: 1:200



Marca	Denominación	Nº de Plano	Nº Piezas	Material	Dimensiones	Observaciones
Denominación				Tolerancias general EN 22768		
Cámara de ensayos cerrada				Calidad Superficial: I (EN 635)		
		Nombre	Firma	 E.U.I.T. AERONÁUTICA		
		Roberto				
		Peinado				
		Illana				
Escala	Plano Nº			CARRERA:		
1:150	4			I.T.A. en Aeronaves		
				Sustituye a		HOJA 4 de 14
			Sustituido por			

D

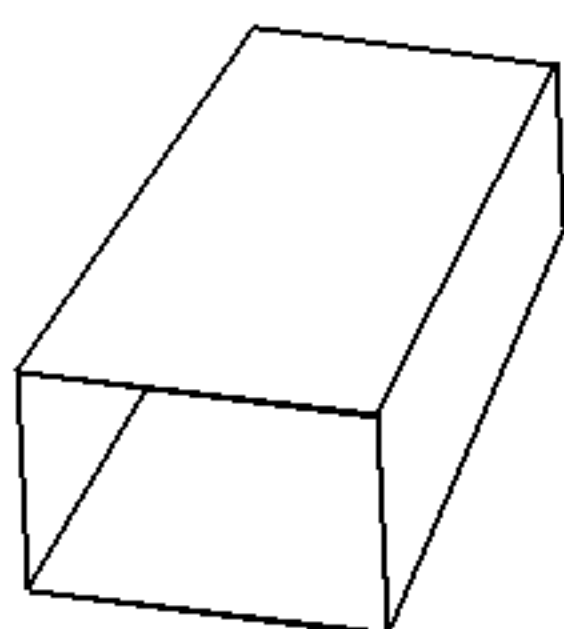
C

B

A

4

4



Isometric view
Scale: 1:200

9160

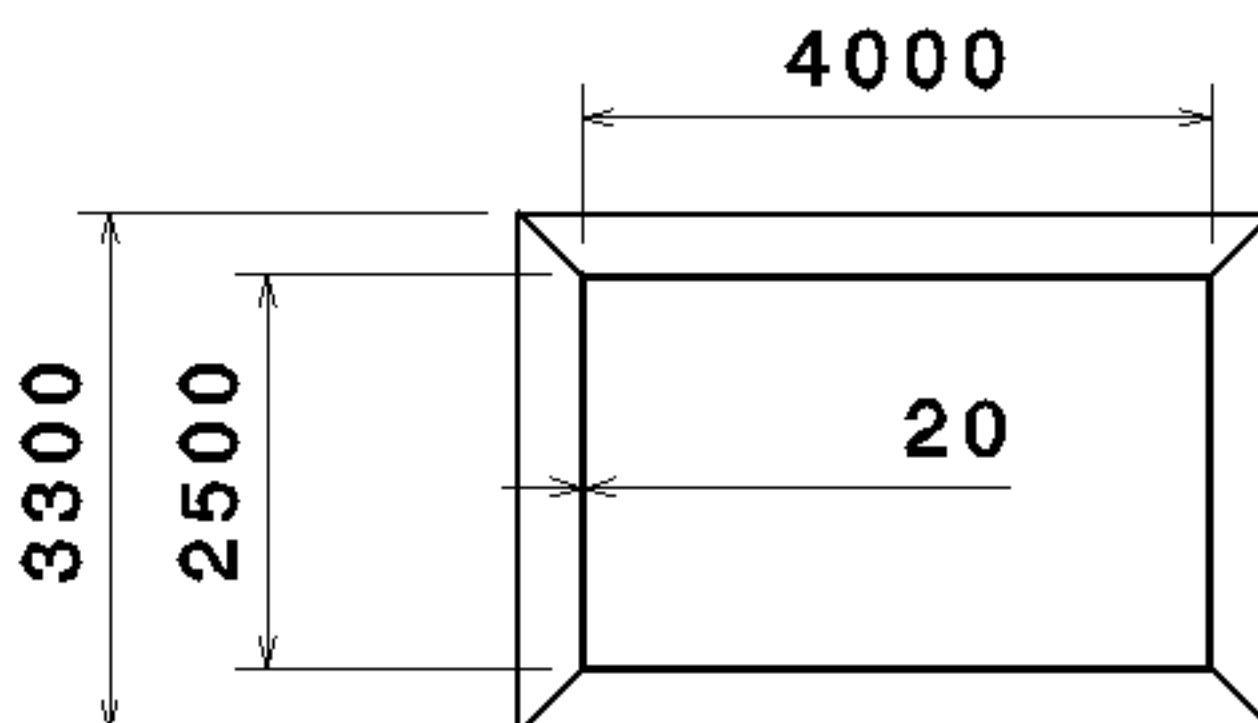
4800

3

3

2

2



Marca

Denominación

Nº de Plano

Nº Piezas

Material

Dimensiones

Observaciones

Denominación

Difusor 1

Tolerancias general EN 22768

Calidad Superficial:

I (EN 635)

Nombre

Firma

Roberto

Peinado

Illana

E.U.I.T. AERONÁUTICA

Escala

Plano Nº

1:100

5

CARRERA:

I.T.A. en

Aeronaves

Sustituye a

Sustituido por

HOJA 5 de 14

D

A

1

1

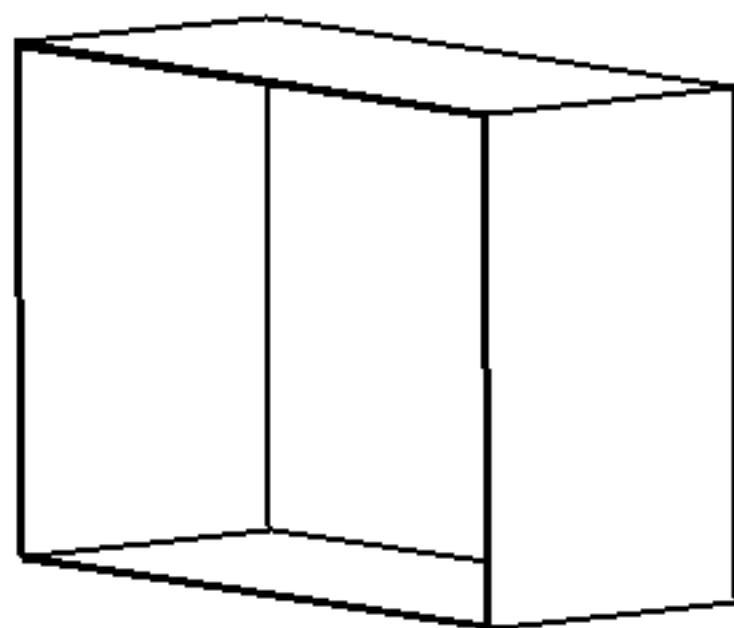
D

C

B

A

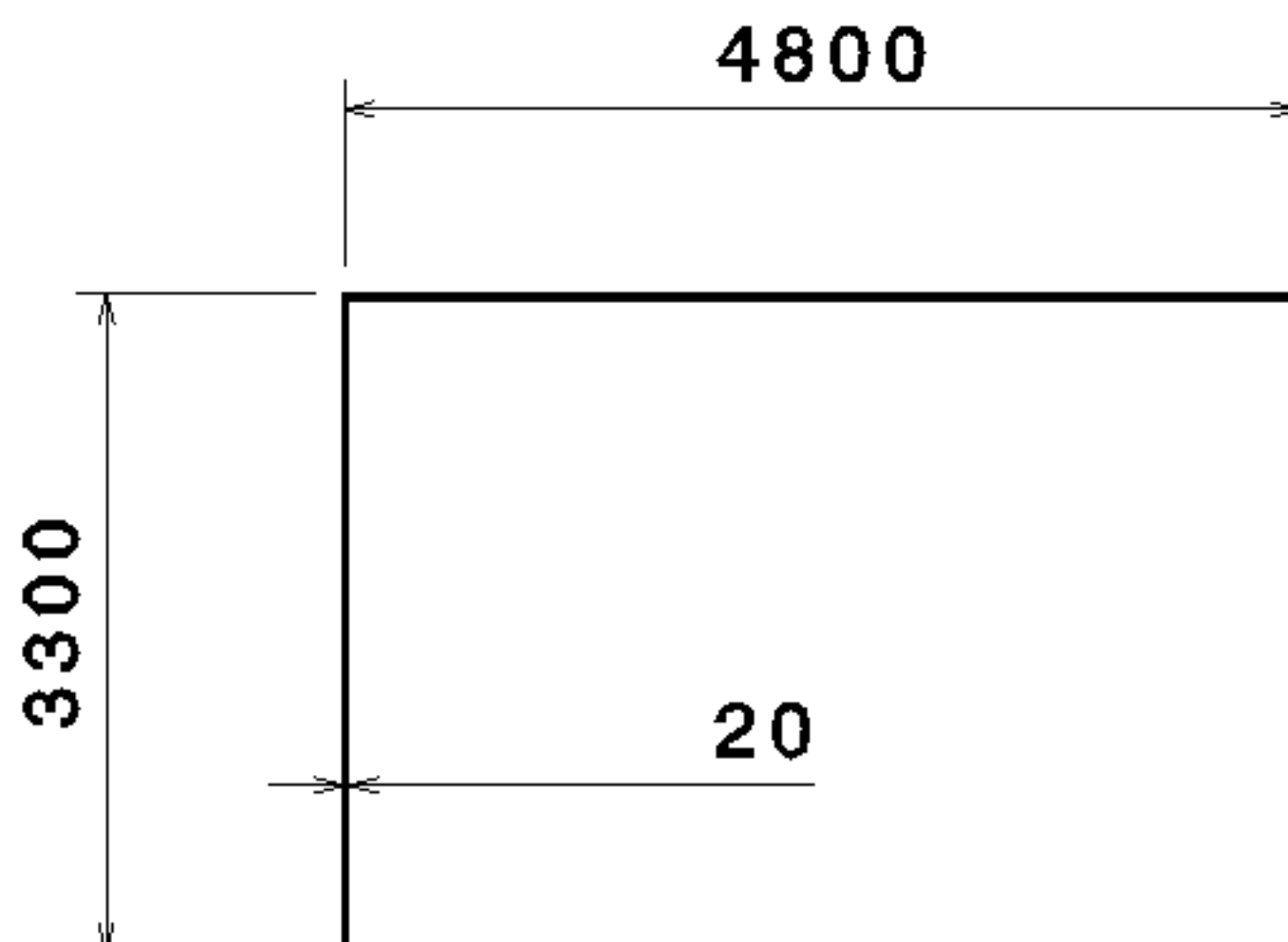
4



Isometric view
Scale: 1:100

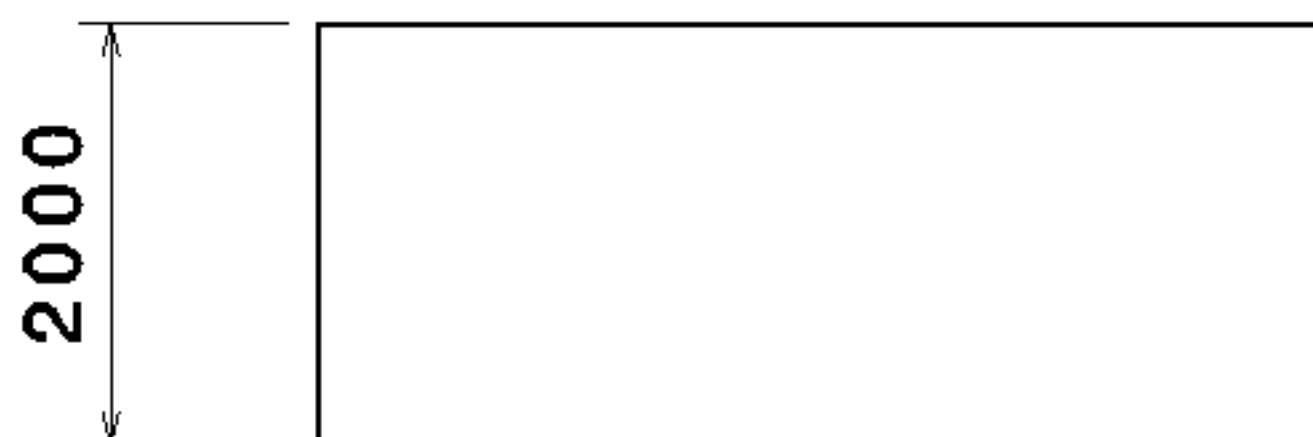
4

3



3

2



2

Marca

Denominación

Nº de Plano

Nº Piezas

Material

Dimensiones

Observaciones

Denominación

Conducto 2 y 4

Tolerancias general EN 22768

Calidad Superficial:

I (EN 635)

Nombre

Firma

Roberto
Peinado
Illana



E.U.I.T. AERONÁUTICA

Escala

Plano Nº

1:75

6

CARRERA:

Aeronaves

I.T.A. en

Sustituye a

Sustituido por

HOJA 6 de 14

D

A

1

1

D

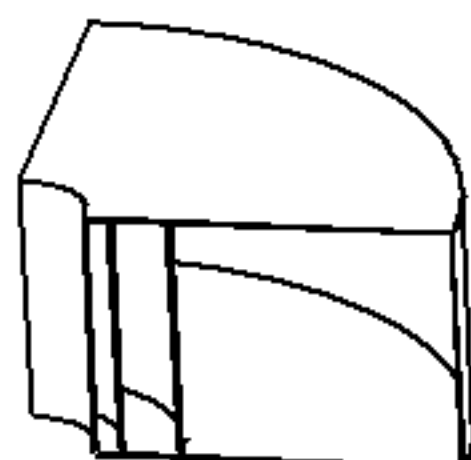
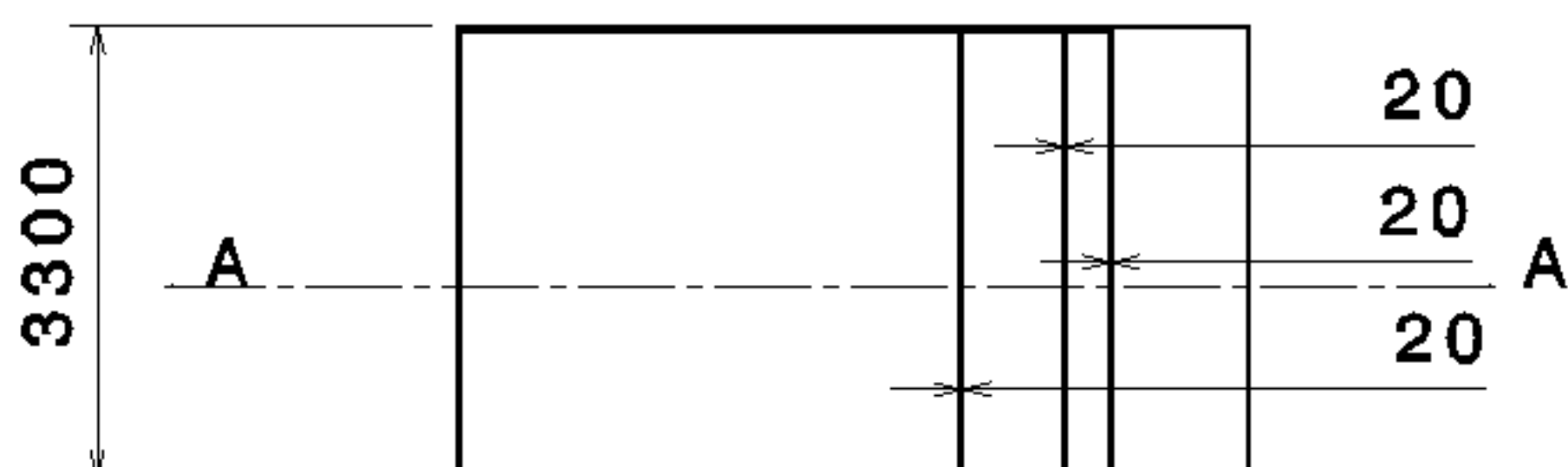
C

B

A

4

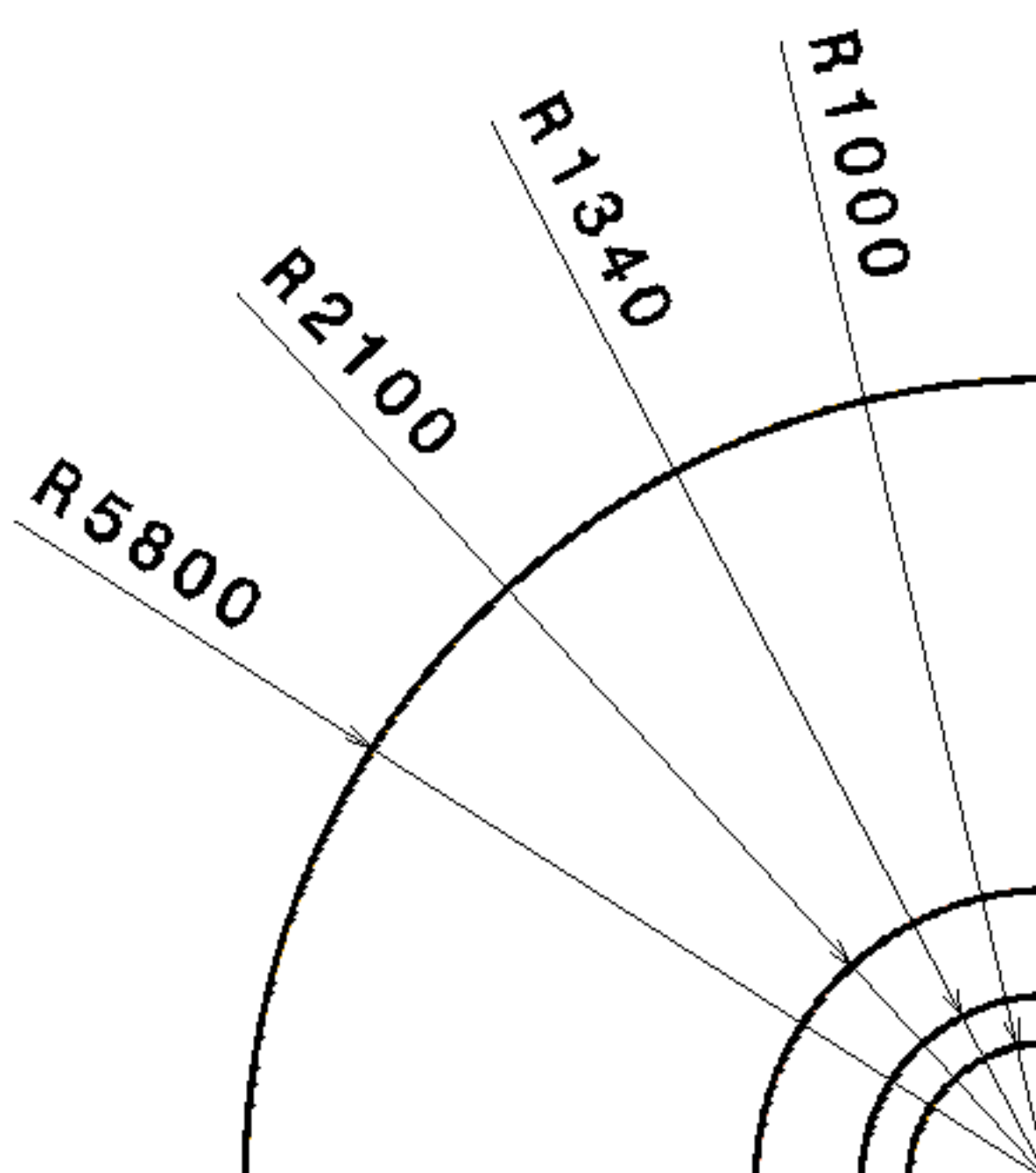
4



Isometric view
Scale: 1:200

3

3



Section view A-A

2

2

Marca

Denominación

Nº de Plano

Nº Piezas

Material

Dimensiones

Observaciones

Denominación

Codos 2 y 3

Tolerancias general EN 22768

Calidad Superficial:

I (EN 635)

Nombre

Firma

Roberto

Peinado

Illana



E.U.I.T. AERONÁUTICA

Escala

Plano Nº

1:100

7

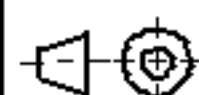
CARRERA:

I.T.A. en Aeronaves

Sustituye a

Sustituido por

HOJA 7 de 14



D

A

1

1

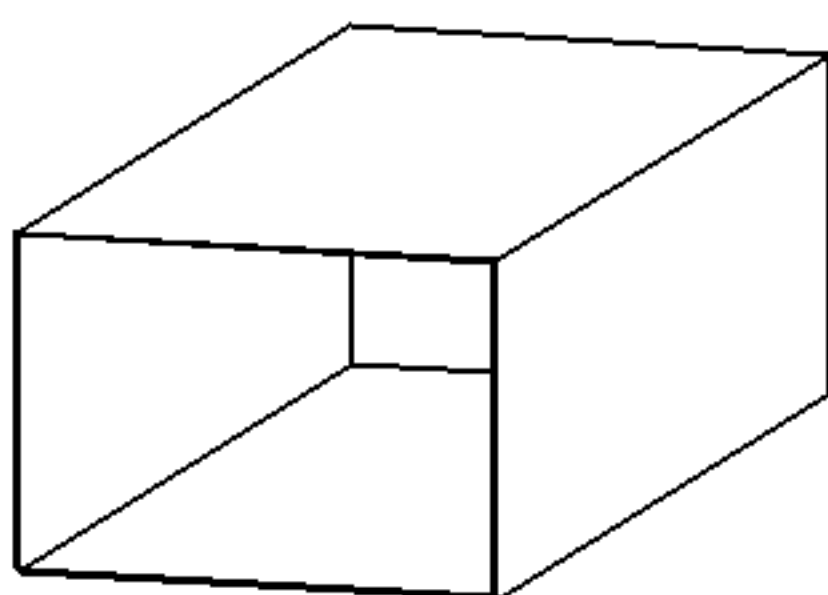
D

C

B

A

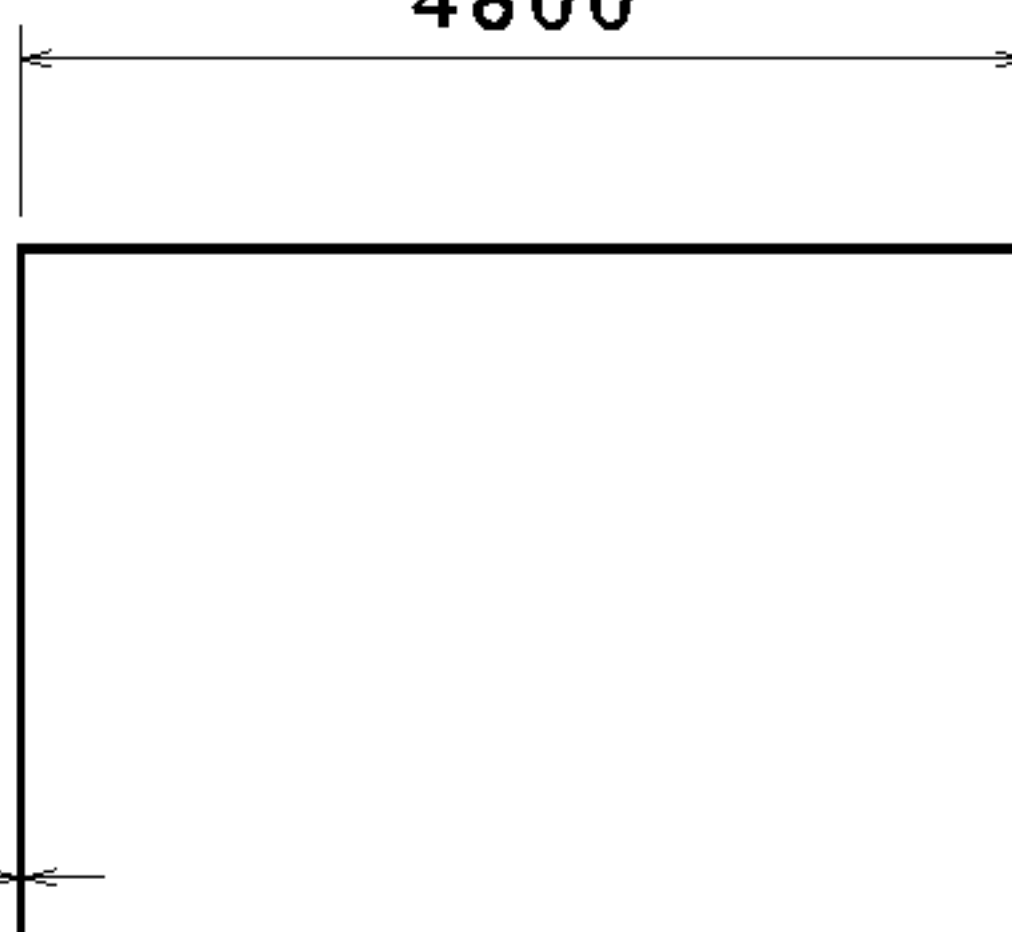
4



Isometric view
Scale: 1:150

4800

20

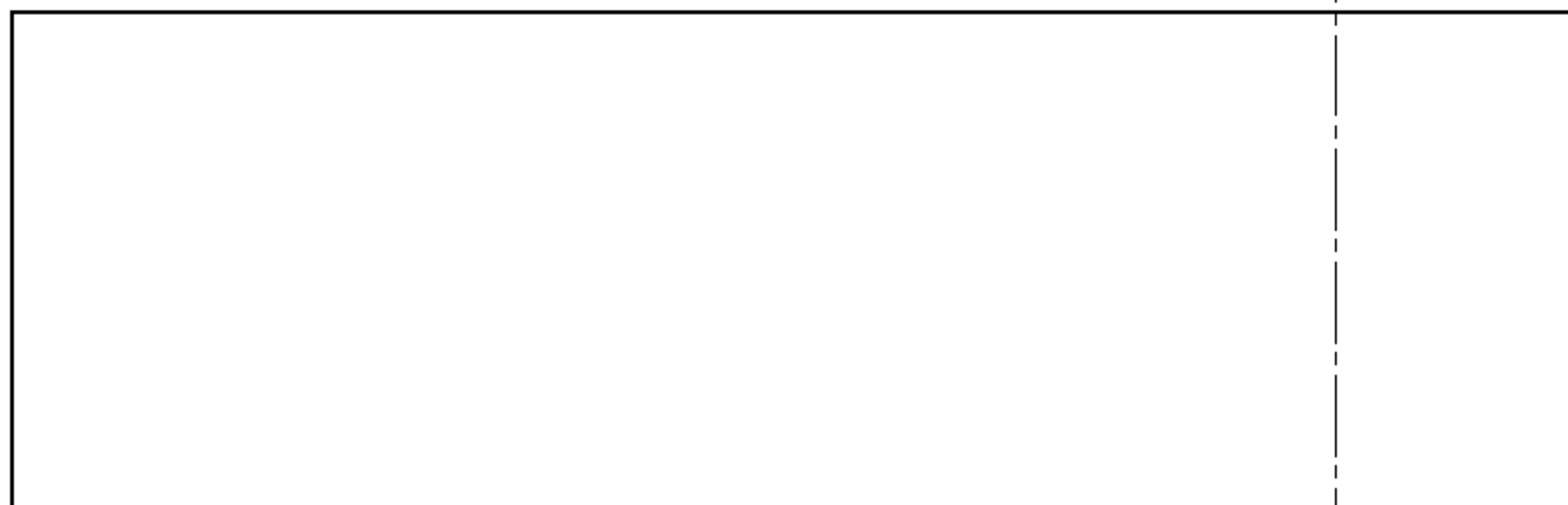


Section view A-A

3

10400.02

A



3300

A

2

2

Marca

Denominación

Nº de Plano

Nº Piezas

Material

Dimensiones

Observaciones

Denominación

Conducto 3

Tolerancias general EN 22768

Calidad Superficial:

I (EN 635)

Nombre

Firma

Roberto
Peinado
Illana



E.U.I.T. AERONÁUTICA

Escala

1:75

Plano Nº

8

CARRERA:

I.T.A. en

Aeronaves

Sustituye a

Sustituido por

HOJA 8 de 14

D

A

1

1

D

C

B

A

4

3300

20

4800

7200

3

3

27480

Isometric view
Scale: 1:150

2

2

Marca

Denominación

Nº de Plano

Nº Piezas

Material

Dimensiones

Observaciones

Denominación

Difusor 2

Tolerancias general EN 22768

Calidad Superficial:

I (EN 635)

Nombre

Firma

Roberto

Peinado

Illana

E.U.I.T. AERONÁUTICA

Escala

Plano Nº

1:200

9

CARRERA:

I.T.A. en

Aeronaves

Sustituye a

Sustituido por

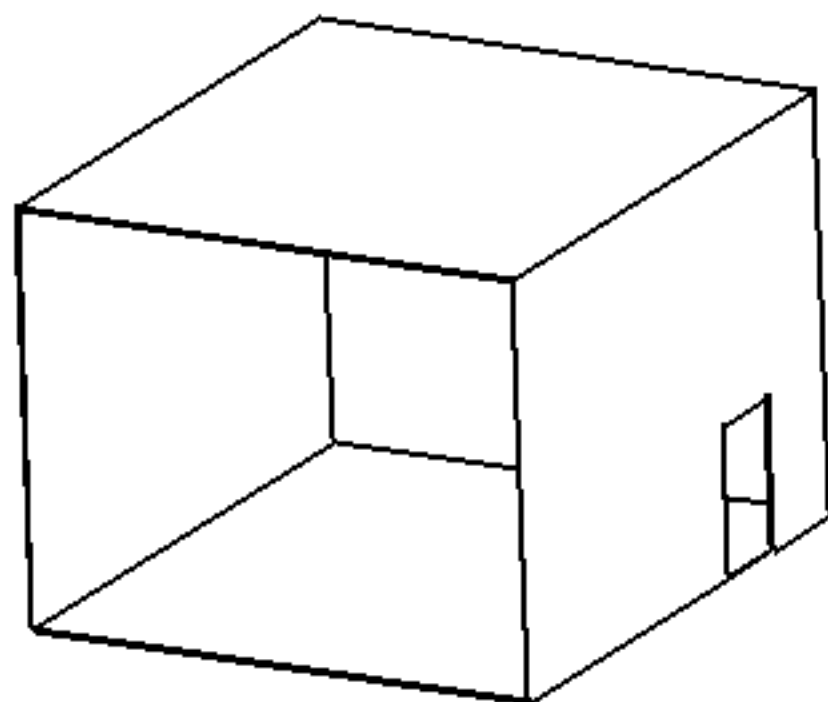
HOJA 9 de 14

D

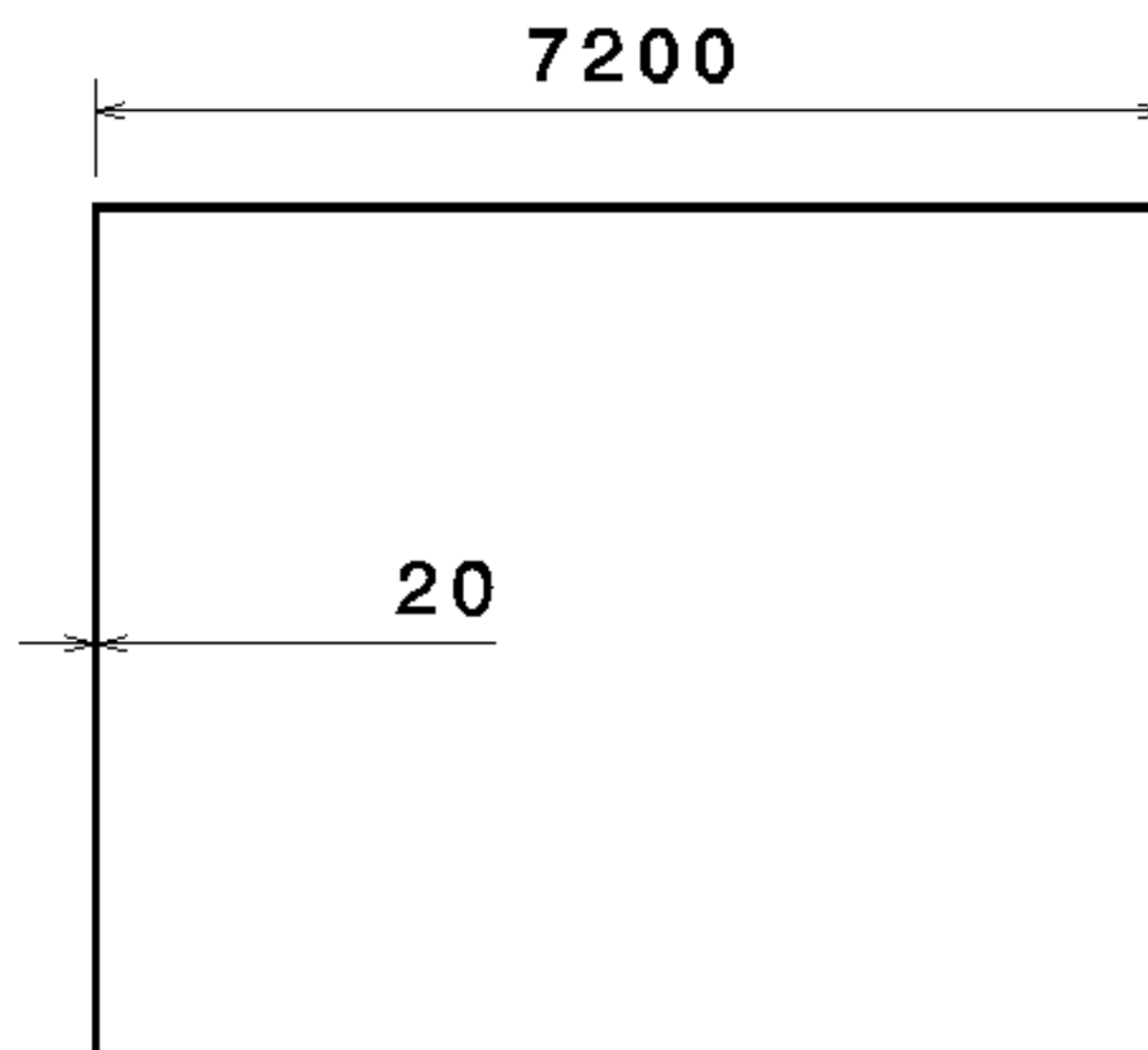
A

1

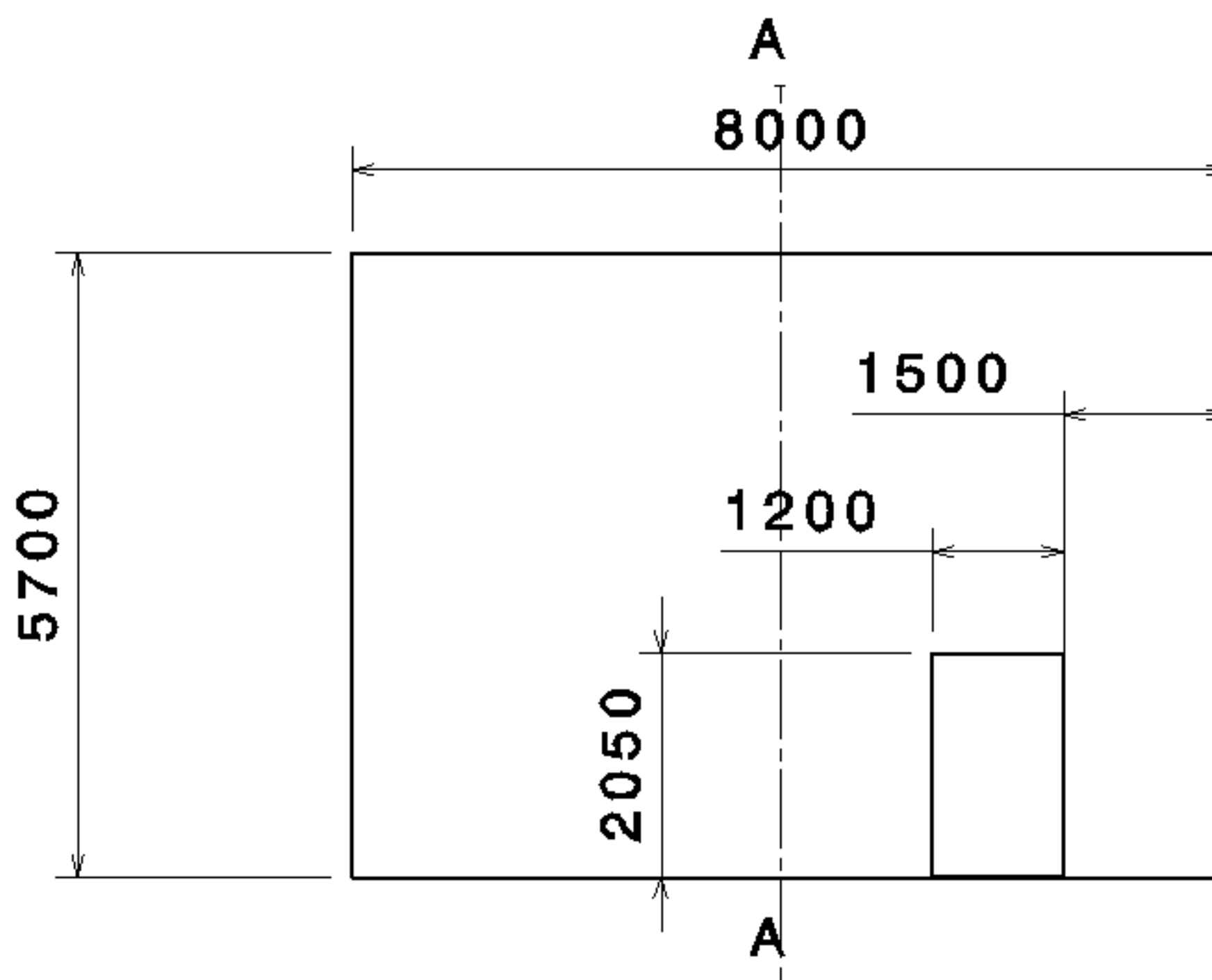
1






Isometric view
Scale: 1:200



Section view A-A



Marca	Denominación	Nº de Plano	Nº Piezas	Material	Dimensiones	Observaciones
Denominación				Tolerancias general EN 22768		
Conducto de los ventiladores				Calidad Superficial: I (EN 635)		
		Nombre	Firma	 E.U.I.T. AERONÁUTICA		
		Roberto				
		Peinado				
		Illana				
Escala	Plano Nº	CARRERA:			Aeronaves	
1:100	10	I.T.A. en			Sustituye a	
			Sustituido por			H0JA 0 de 4

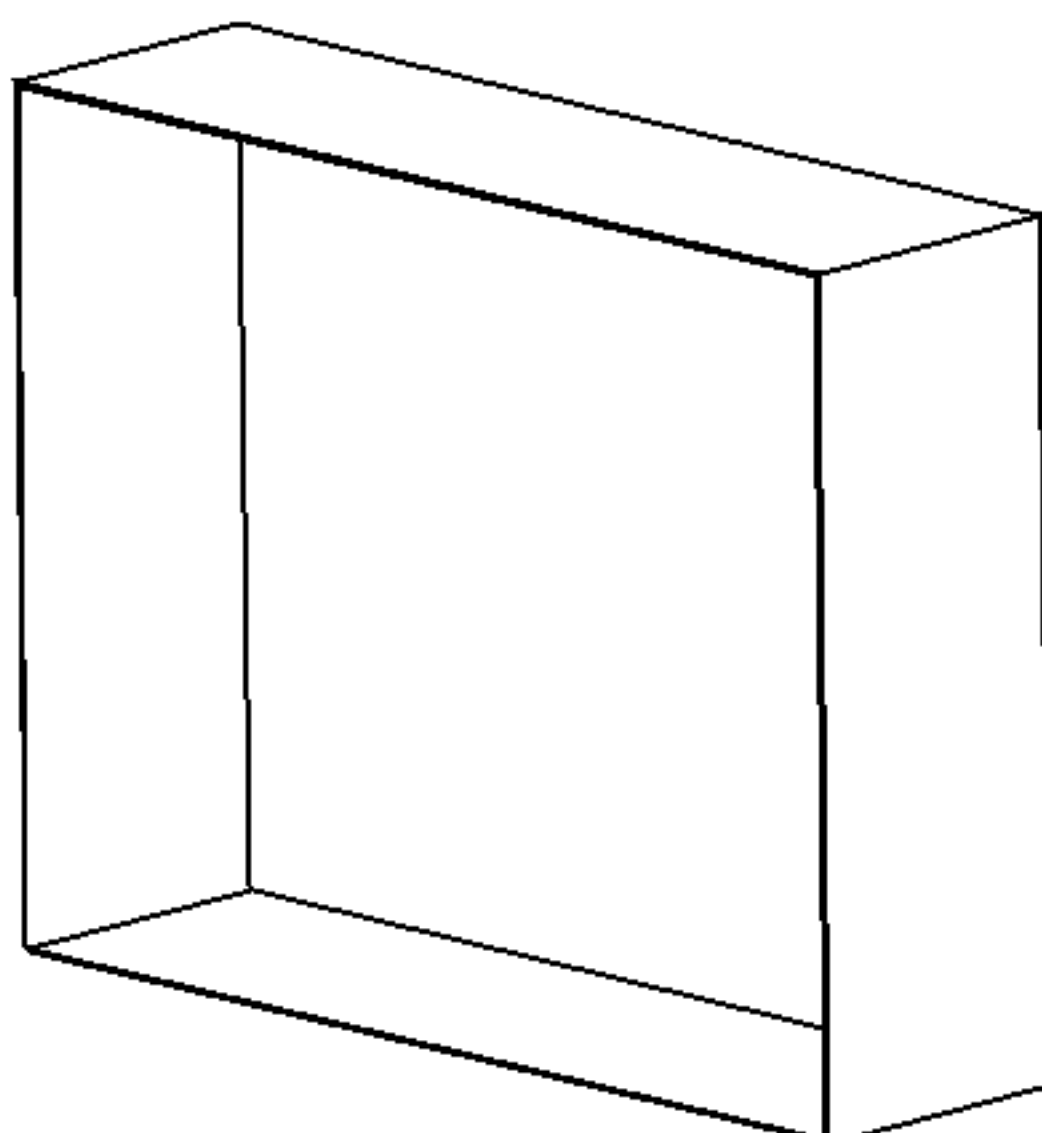
D

C

B

A

4



Isometric view
Scale: 1:100

3

7200

2000

20

5700

2

2

Marca

Denominación

Nº de Plano

Nº Piezas

Material

Dimensiones

Observaciones

Denominación

Conducto 1 y 5

Tolerancias general EN 22768

Calidad Superficial:

I (EN 635)

Nombre

Firma

Roberto

Peinado

Illana



E.U.I.T. AERONÁUTICA

Escala

Plano Nº

CARRERA:

1:100

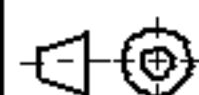
11

I.T.A. en Aeronaves

Sustituye a

Sustituido por

HOJA 1 de 4



D

A

1

1

D

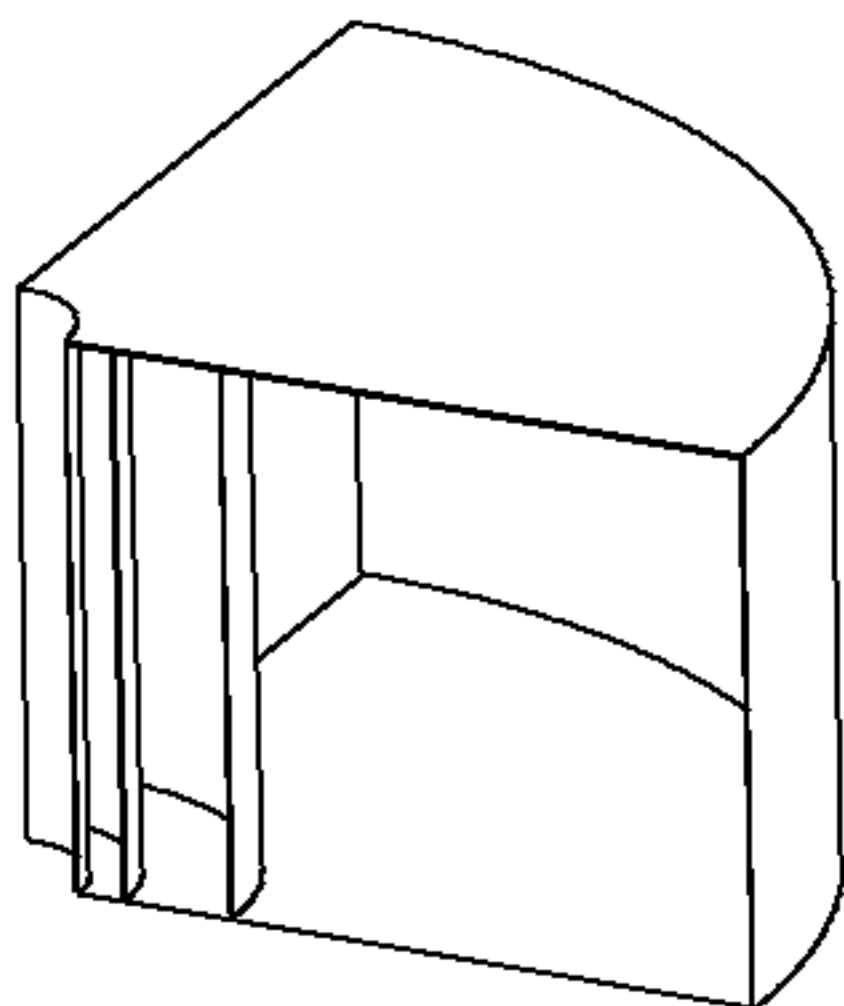
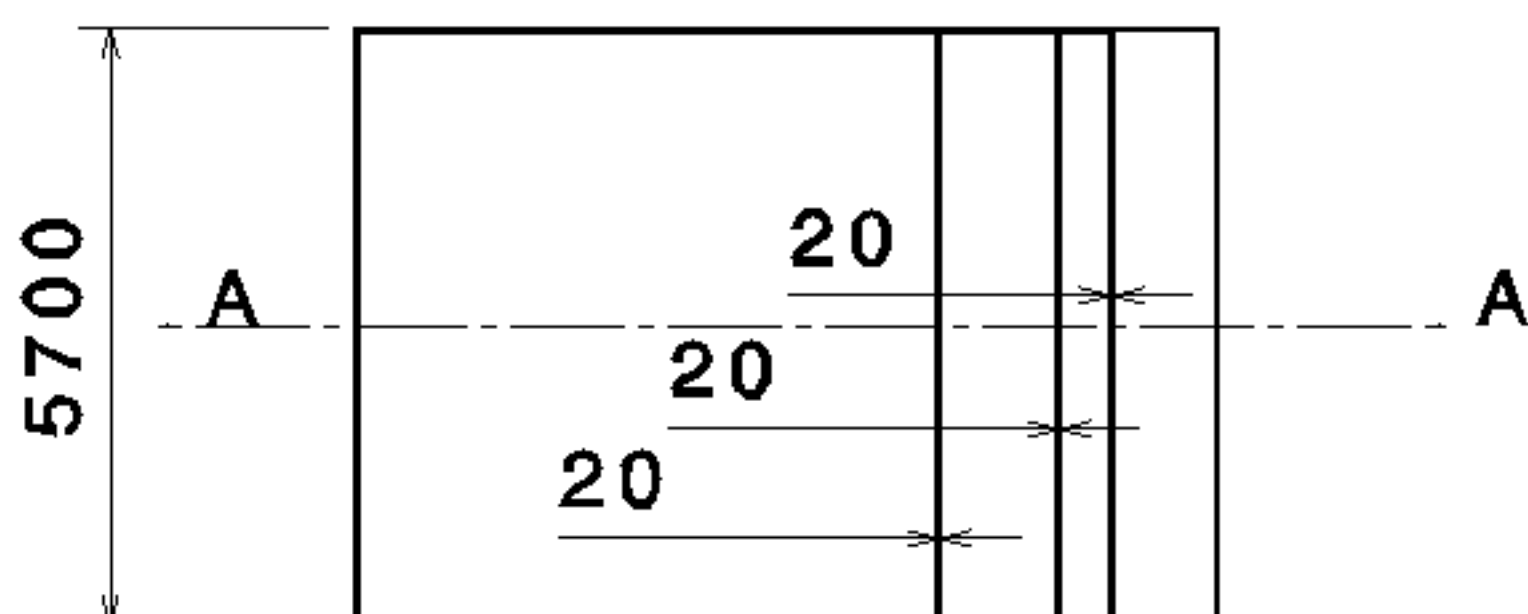
C

B

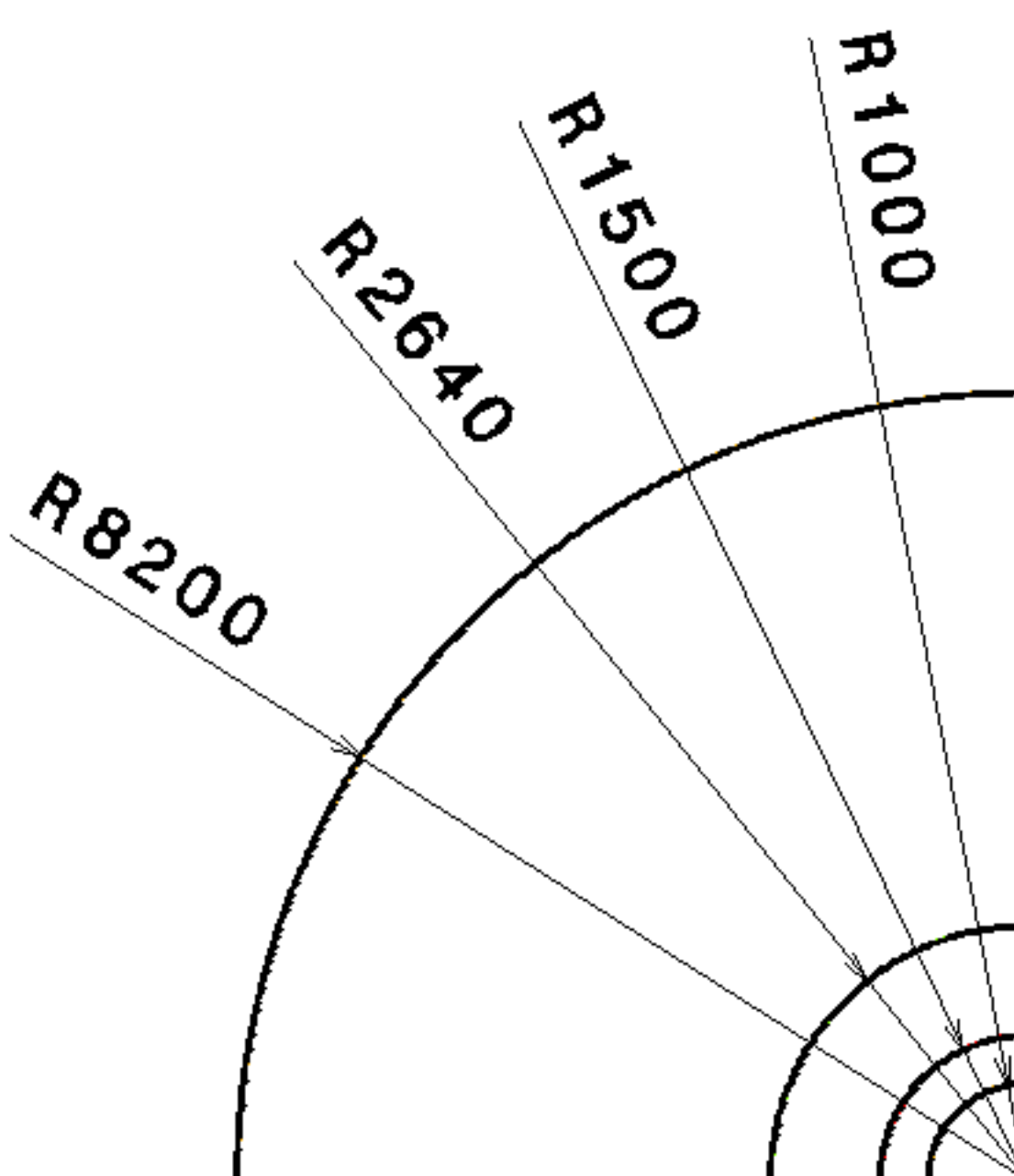
A

4

4



Isometric view
Scale: 1:150



Section view A-A

3

3

2

2

Marca

Denominación

Nº de Plano

Nº Piezas

Material

Dimensiones

Observaciones

Denominación

Codo 1 y 4

Tolerancias general EN 22768

Calidad Superficial:

I (EN 635)

Nombre

Firma

Roberto

Peinado

Illana



E.U.I.T. AERONÁUTICA

Escala

Plano Nº

1:150

12

CARRERA:

I.T.A. en

Aeronaves

Sustituye a

Sustituido por

HOJA 2 de 4

D

A

1

1

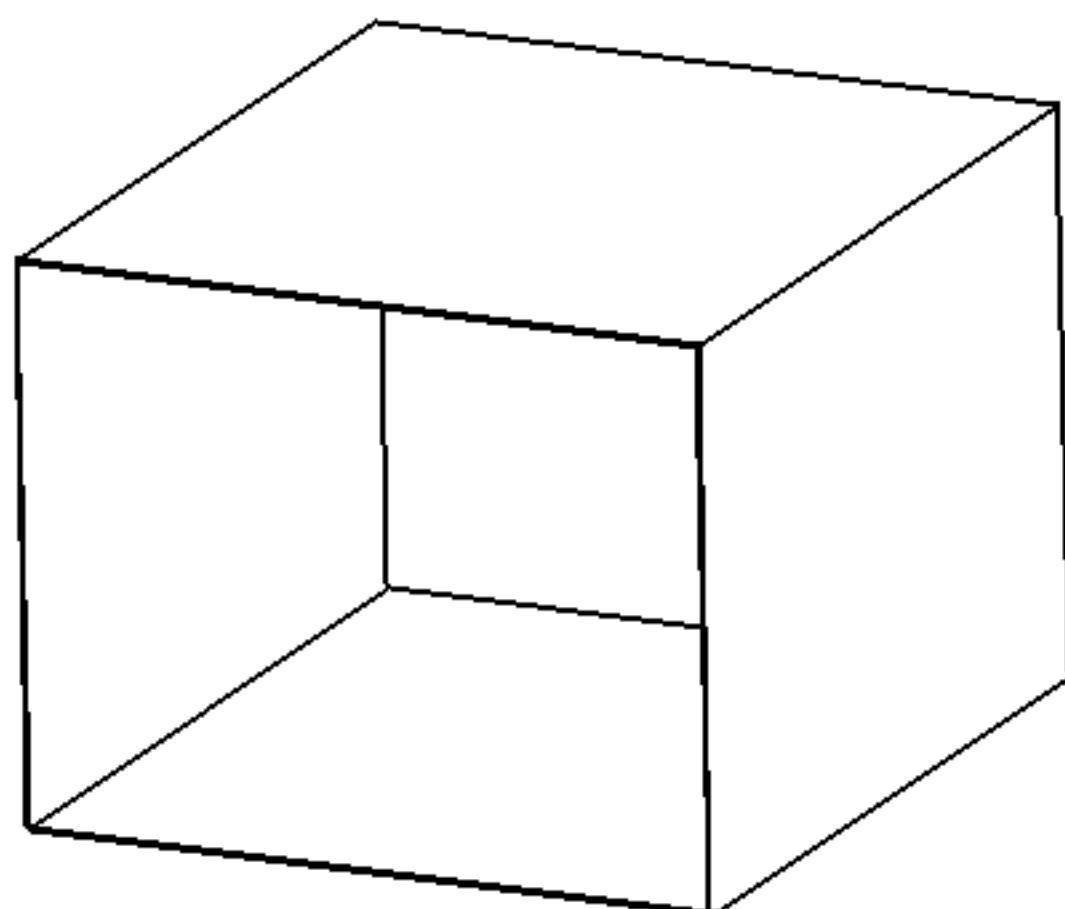
D

C

B

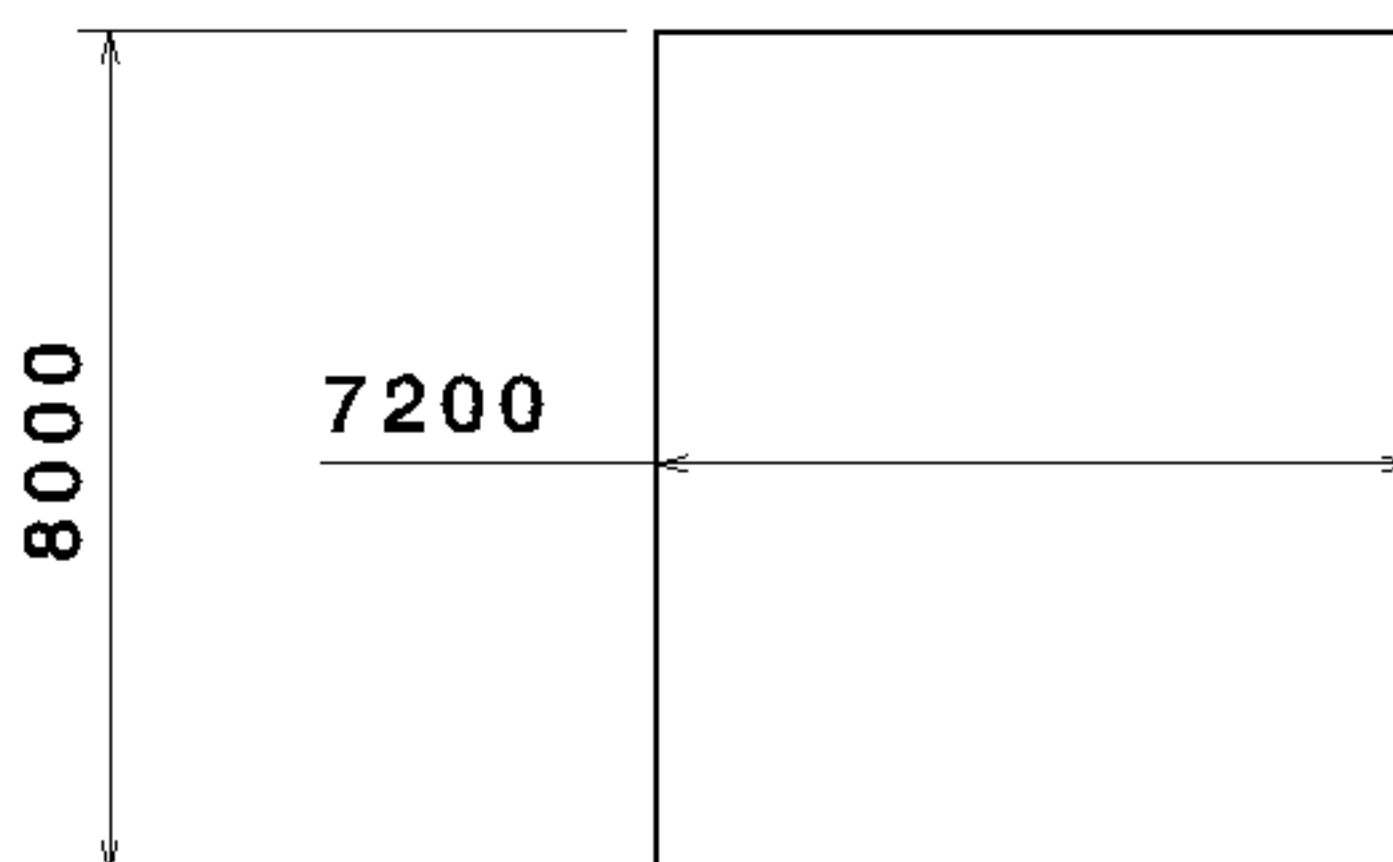
A

4



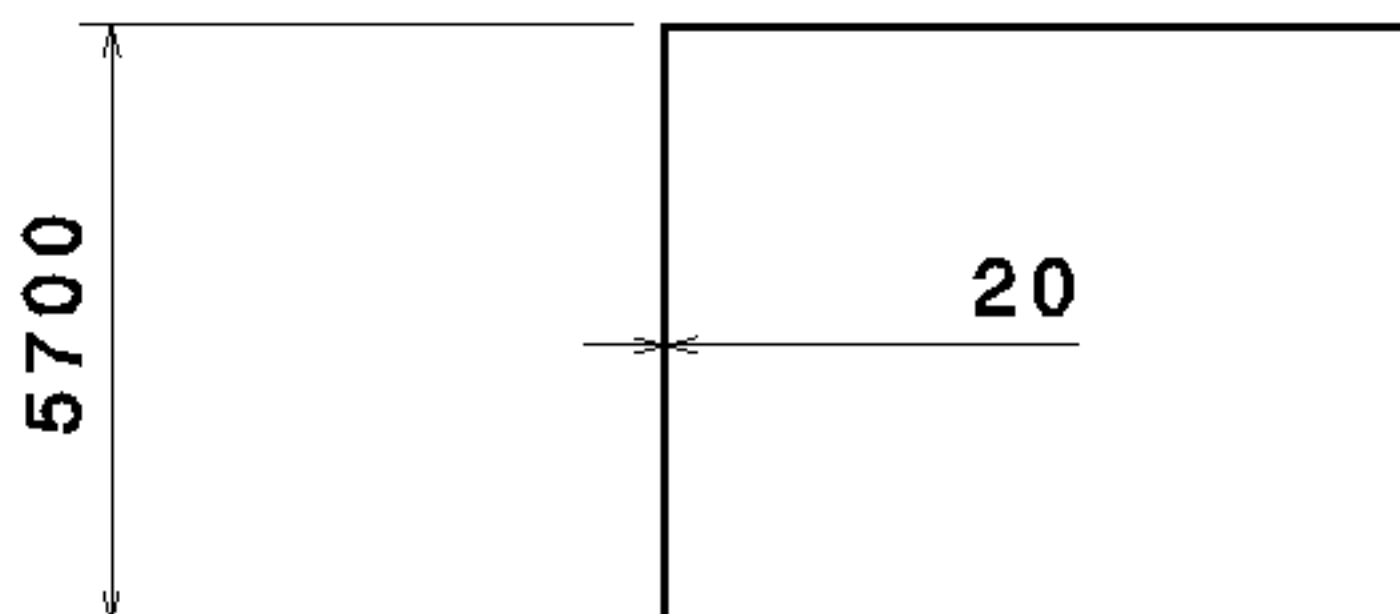
Isometric view
Scale: 1:150

3



3

2



2

Marca

Denominación

Nº de Plano

Nº Piezas

Material

Dimensiones

Observaciones

Denominación

Conducto 6

Tolerancias general EN 22768

Calidad Superficial:

I (EN 635)

Nombre

Firma

Roberto

Peinado

Illana

E.U.I.T. AERONÁUTICA

Escala

Plano Nº

1:150

13

CARRERA:

Aeronaves

I.T.A. en

Sustituye a

Sustituido por

HOJA 3 de 4

D

A

1

1

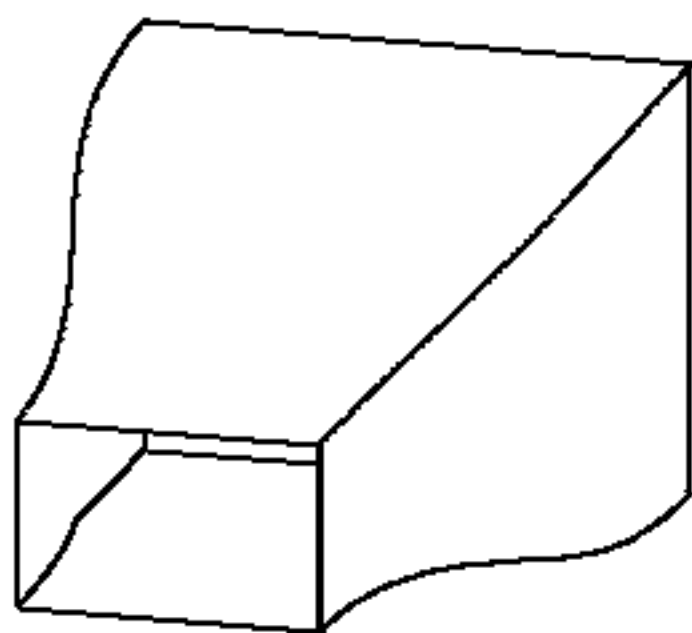
D

C

B

A

4

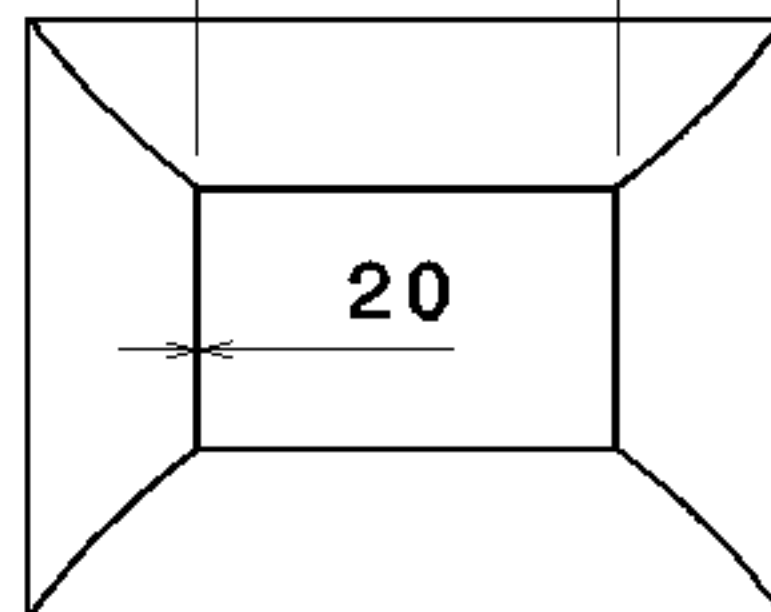


Isometric view
Scale: 1:200

4000

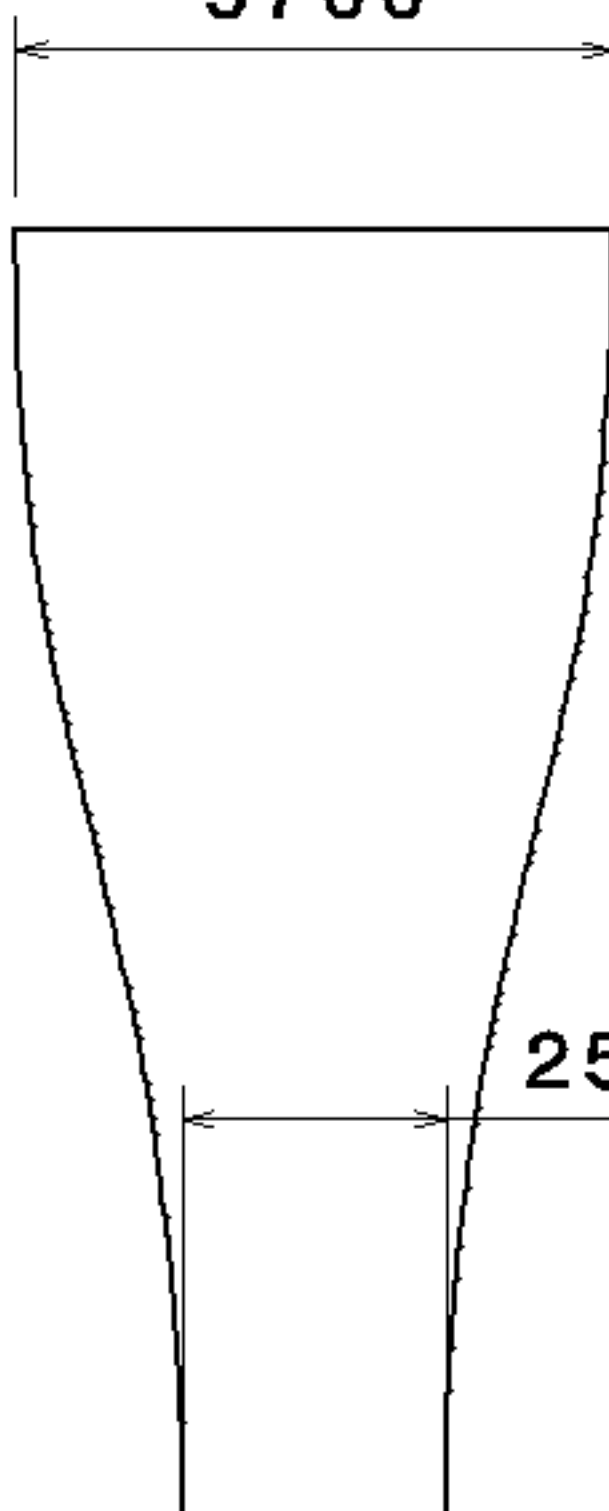
20

4



3

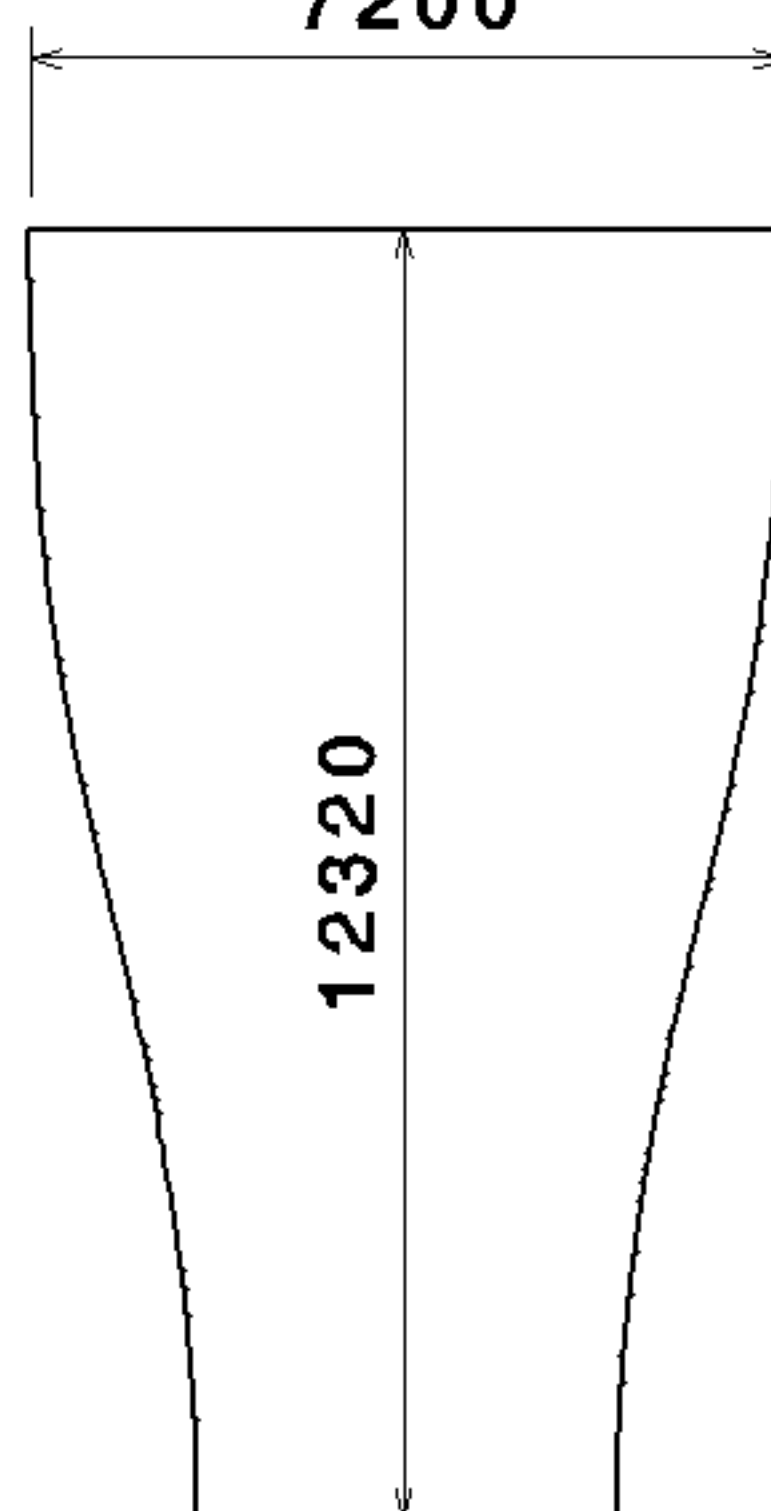
5700



2504

2

7200



12320

3

2

Marca

Denominación

Nº de Plano

Nº Piezas

Material

Dimensiones

Observaciones

Denominación

Contracción

Tolerancias general EN 22768

Calidad Superficial:

I (EN 635)

Nombre

Firma

Roberto

Peinado

Illana



E.U.I.T. AERONÁUTICA

Escala

Plano Nº

1:150

14

CARRERA:

I.T.A. en Aeronaves

Sustituye a

Sustituido por

HOJA 4 de 4

D

A

1

1



ANEXO 2. CATÁLOGOS



(Página intencionadamente en blanco)



HGT: Ventiladores helicoidales tubulares de gran diámetro, con motor directo
HGTX: Ventiladores helicoidales tubulares de gran diámetro, con motor exterior



HGT

HGTX



Versión bajo
demanda
(CJHGT)

Ventiladores helicoidales tubulares, equipados con hélices de aluminio de 3, 6 ó 9 álabes con diversos ángulos de inclinación.

Ventilador:

- Dirección aire motor-hélice
- Hélices de ángulo variable en fundición de aluminio (HGTX: de 3, 6 ó 9 álabes con diversos ángulos de inclinación)
- Envoltente tubular en chapa de acero
- HGT: La versión con carcasa larga va equipada con trampilla de inspección
- HGTX: Equipados con trampilla de inspección

Motor:

- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55
- Trifásicos 230/400V.-50Hz.(hasta 5,5CV.) y 400/690V.-50Hz.(potencias superiores a 5,5CV.)
- Temperatura de trabajo: -25°C.+ 50°C (HGT), -25°C.+ 120°C (HGTX)

Acabado: Anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190°C, previo desengrase alcalino y pretratamiento libre de fosfatos.

Bajo demanda:

- Dirección aire hélice-motor.
- Hélices reversibles 100%.
- Bobinados especiales para diferentes tensiones.
- Certificación ATEX Categoría 2

Características técnicas

Modelo		Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m3/h)	Nivel de presión sonora dB(A)	Peso Aprox. Kg.	
			230V	400V	690V				HGT Larga	HGTX Corta
HGT-125-4T/3-10	HGTX-125-4T/3-10	1450	25,60	14,80		7,50	63000	88	211	178
HGT-125-4T/3-15	HGTX-125-4T/3-15	1460		21,50	12,40	11,00	76500	89	249	221
HGT-125-4T/3-20	HGTX-125-4T/3-20	1455		28,50	16,50	15,00	92100	91	268	240
HGT-125-4T/3-25	HGTX-125-4T/3-25	1470		35,00	20,20	18,50	98500	91	331	288
HGT-125-4T/3-30	HGTX-125-4T/3-30	1470		41,00	23,70	22,00	102600	92	348	305
HGT-125-4T/3-40	HGTX-125-4T/3-40	1475		56,00	32,30	30,00	117000	93	440	397
HGT-125-4T/3-50	HGTX-125-4T/3-50	1480		68,00	39,30	37,00	127500	94	474	418
HGT-125-4T/3-60	HGTX-125-4T/3-60	1480		84,00	48,50	45,00	131500	95	489	433
HGT-125-4T/6-20	HGTX-125-4T/6-20	1455		28,50	16,50	15,00	80500	89	277	249
HGT-125-4T/6-25	HGTX-125-4T/6-25	1470		35,00	20,20	18,50	96300	90	340	297
HGT-125-4T/6-30	HGTX-125-4T/6-30	1470		41,00	23,70	22,00	102000	90	357	314
HGT-125-4T/6-40	HGTX-125-4T/6-40	1475		56,00	32,30	30,00	117350	92	449	405
HGT-125-4T/6-50	HGTX-125-4T/6-50	1480		68,00	39,30	37,00	130000	93	483	427
HGT-125-4T/6-60	HGTX-125-4T/6-60	1480		84,00	48,50	45,00	136000	94	498	442
HGT-125-4T/6-75	HGTX-125-4T/6-75	1480		98,00	56,60	55,00	149500	95	549	499
HGT-125-4T/6-100	HGTX-125-4T/6-100	1480		132,00	76,20	75,00	155000	96	598	548
HGT-125-4T/9-25	HGTX-125-4T/9-25	1470		35,00	20,20	18,50	65000	88	349	306
HGT-125-4T/9-30	HGTX-125-4T/9-30	1470		41,00	23,70	22,00	74000	89	366	323
HGT-125-4T/9-40	HGTX-125-4T/9-40	1475		56,00	32,30	30,00	92000	91	458	414
HGT-125-4T/9-50	HGTX-125-4T/9-50	1480		68,00	39,30	37,00	109000	93	492	436
HGT-125-4T/9-60	HGTX-125-4T/9-60	1480		84,00	48,50	45,00	117000	94	507	451
HGT-125-4T/9-75	HGTX-125-4T/9-75	1480		98,00	56,60	55,00	135000	95	558	508
HGT-125-4T/9-100	HGTX-125-4T/9-100	1480		132,00	76,20	75,00	163000	99	607	557
HGT-125-6T/3-4	HGTX-125-6T/3-4	935	12,10	7,00		3,00	51000	79	204	171
HGT-125-6T/3-5,5	HGTX-125-6T/3-5,5	940	15,50	8,95		4,00	58000	80	209	176
HGT-125-6T/3-7,5	HGTX-125-6T/3-7,5	955	20,60	11,90		5,50	66000	81	217	184
HGT-125-6T/3-10	HGTX-125-6T/3-10	970	26,70	15,40		7,50	74000	83	262	234
HGT-125-6T/3-15	HGTX-125-6T/3-15	970		23,00	13,30	11,00	87500	84	276	248
HGT-125-6T/3-20	HGTX-125-6T/3-20	970		31,00	17,90	15,00	88500	85	358	315
HGT-125-6T/6-5,5	HGTX-125-6T/6-5,5	940	15,50	8,95		4,00	53000	77	218	185
HGT-125-6T/6-7,5	HGTX-125-6T/6-7,5	955	20,60	11,90		5,50	58000	77	226	193
HGT-125-6T/6-10	HGTX-125-6T/6-10	970	26,70	15,40		7,50	72200	79	271	243
HGT-125-6T/6-15	HGTX-125-6T/6-15	970		23,00	13,30	11,00	85000	81	285	257



HGT: Ventiladores helicoidales tubulares de gran diámetro, con motor directo
HGTX: Ventiladores helicoidales tubulares de gran diámetro, con motor exterior

HGT HGTX

Características técnicas

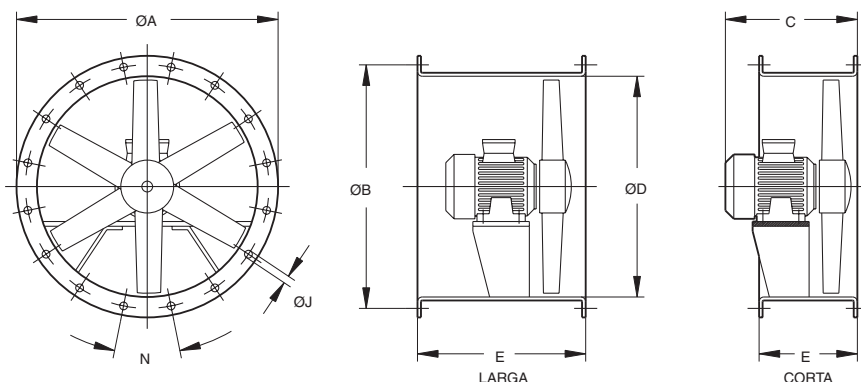
Modelo		Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m3/h)	Nivel de presión sonora dB(A)	Peso Aprox. Kg.		
			230V	400V	690V				HGT Larga	HGTX Corta	
HGT-125-6T/6-20	HGTX-125-6T/6-20	970		31,00	17,90	15,00	95000	82	367	324	454
HGT-125-6T/6-25	HGTX-125-6T/6-25	985		36,00	20,80	18,50	102000	84	409	365	498
HGT-125-6T/9-10	HGTX-125-6T/9-10	970	26,70	15,40		7,50	53000	78	280	252	400
HGT-125-6T/9-15	HGTX-125-6T/9-15	970		23,00	13,30	11,00	70500	81	294	266	414
HGT-125-6T/9-20	HGTX-125-6T/9-20	970		31,00	17,90	15,00	86500	84	376	333	463
HGT-125-6T/9-25	HGTX-125-6T/9-25	985		36,00	20,80	18,50	96500	85	418	374	507
HGT-125-6T/9-30	HGTX-125-6T/9-30	980		43,00	24,80	22,00	109500	87	438	394	527
HGT-125-8T/3-3	HGTX-125-8T/3-3	720	10,20	5,90		2,20	48900	71	209	176	340
HGT-125-8T/3-4	HGTX-125-8T/3-4	720	13,50	7,80		3,00	52500	71	216	183	347
HGT-125-8T/3-5,5	HGTX-125-8T/3-5,5	715	17,30	10,00		4,00	61000	73	249	221	369
HGT-125-8T/3-7,5	HGTX-125-8T/3-7,5	710	23,20	13,40		5,50	67200	75	262	234	382
HGT-125-8T/6-3	HGTX-125-8T/6-3	720	10,20	5,90		2,20	44000	69	218	185	349
HGT-125-8T/6-4	HGTX-125-8T/6-4	720	13,50	7,80		3,00	54500	71	225	192	356
HGT-125-8T/6-5,5	HGTX-125-8T/6-5,5	715	17,30	10,00		4,00	61500	72	258	230	378
HGT-125-8T/6-7,5	HGTX-125-8T/6-7,5	710	23,20	13,40		5,50	68000	73	271	243	391
HGT-125-8T/6-10	HGTX-125-8T/6-10	715	31,40	18,10		7,50	78500	75	301	273	421
HGT-125-8T/9-4	HGTX-125-8T/9-4	720	13,50	7,80		3,00	42000	70	234	201	365
HGT-125-8T/9-5,5	HGTX-125-8T/9-5,5	715	17,30	10,00		4,00	56500	73	267	239	387
HGT-125-8T/9-7,5	HGTX-125-8T/9-7,5	710	23,20	13,40		5,50	66500	75	280	252	400
HGT-125-8T/9-10	HGTX-125-8T/9-10	715	31,40	18,10		7,50	75500	76	310	282	430
HGT-125-8T/9-15	HGTX-125-8T/9-15	720	40,70	23,50	13,60	11,00	87000	79	372	329	459
HGT-140-6T/3-4		960	12,00	6,90		3,00	61000	82	251	214	
HGT-140-6T/3-5,5		960	15,10	8,70		4,00	67000	83	258	221	
HGT-140-6T/3-7,5		955		11,90	6,90	5,50	78000	84	266	229	
HGT-140-6T/3-10		970		15,40	8,90	7,50	89000	85	320	281	
HGT-140-6T/3-15		970		23,00	13,30	11,00	104000	86	334	295	
HGT-140-6T/3-20		970		31,00	17,90	15,00	111000	88	414	364	
HGT-140-6T/6-5,5		960	15,10	8,70		4,00	58000	82	268	231	
HGT-140-6T/6-7,5		955		11,90	6,90	5,50	72000	84	276	239	
HGT-140-6T/6-10		970		15,40	8,90	7,50	85000	85	330	291	
HGT-140-6T/6-15		970		23,00	13,30	11,00	102000	86	344	305	
HGT-140-6T/6-20		970		31,00	17,90	15,00	112000	87	423	374	
HGT-140-6T/6-25		985		36,00	20,80	18,50	123000	88	466	417	
HGT-140-6T/6-30		980		43,00	24,80	22,00	131000	89	486	437	
HGT-140-6T/9-10		970		15,40	8,90	7,50	70000	84	339	300	
HGT-140-6T/9-15		970		23,00	13,30	11,00	86000	86	353	314	
HGT-140-6T/9-20		970		31,00	17,90	15,00	100000	87	433	383	
HGT-140-6T/9-25		985		36,00	20,80	18,50	108000	88	475	427	
HGT-140-6T/9-30		980		43,00	24,80	22,00	121000	89	495	447	
HGT-140-6T/9-40		985		56,00	32,30	30,00	139000	91	561	499	
HGT-140-6T/9-50		985		69,00	39,80	37,00	148000	92	623	568	
HGT-140-8T/3-3		720	10,20	5,90		2,20	60000	78	258	221	
HGT-140-8T/3-4		720	13,50	7,80		3,00	64000	78	265	228	
HGT-140-8T/3-5,5		715	17,30	10,00		4,00	74000	79	307	268	
HGT-140-8T/3-7,5		710		13,40	7,70	5,50	82500	81	320	281	
HGT-140-8T/3-10		715		18,10	10,50	7,50	85500	82	350	311	
HGT-140-8T/6-3		720	10,20	5,90		2,20	54000	78	268	231	
HGT-140-8T/6-4		720	13,50	7,80		3,00	64000	79	275	238	
HGT-140-8T/6-5,5		715	17,30	10,00		4,00	74000	80	317	278	
HGT-140-8T/6-7,5		710		13,40	7,70	5,50	82000	81	330	291	
HGT-140-8T/6-10		715		18,10	10,50	7,50	94000	82	360	321	
HGT-140-8T/6-15		720		23,50	13,60	11,00	100000	83	419	370	
HGT-140-8T/9-4		720	13,50	7,80		3,00	53500	79	284	247	
HGT-140-8T/9-5,5		715	17,30	10,00		4,00	58500	79	326	287	
HGT-140-8T/9-7,5		710		13,40	7,70	5,50	71000	81	339	300	
HGT-140-8T/9-10		715		18,10	10,50	7,50	82000	82	369	330	
HGT-140-8T/9-15		720		23,50	13,60	11,00	95000	83	429	379	
HGT-140-8T/9-20		740		29,00	16,70	15,00	111000	86	485	437	
HGT-160-6T/3-5,5		960	15,10	8,70		4,00	66000	81	327	275	
HGT-160-6T/3-7,5		955		11,90	6,90	5,50	75000	82	335	283	
HGT-160-6T/3-10		970		15,40	8,90	7,50	92000	83	393	339	
HGT-160-6T/3-15		970		23,00	13,30	11,00	113000	85	407	353	
HGT-160-6T/3-20		970		31,00	17,90	15,00	131000	86	500	431	
HGT-160-6T/3-25		985		36,00	20,80	18,50	142000	87	543	473	
HGT-160-6T/3-30		980		43,00	24,80	22,00	150000	89	563	493	
HGT-160-6T/6-10		970		15,40	8,90	7,50	75000	83	404	350	
HGT-160-6T/6-15		970		23,00	13,30	11,00	92000	85	418	364	
HGT-160-6T/6-20		970		31,00	17,90	15,00	112000	86	510	441	
HGT-160-6T/6-25		985		36,00	20,80	18,50	120000	87	553	484	
HGT-160-6T/6-30		980		43,00	24,80	22,00	136000	88	573	504	
HGT-160-6T/6-40		985		56,00	32,30	30,00	158000	89	656	557	
HGT-160-6T/6-50		985		69,00	39,80	37,00	174000	91	714	629	
HGT-160-6T/9-15		970		23,00	13,30	11,00	87000	85	428	374	
HGT-160-6T/9-20		970		31,00	17,90	15,00	97000	86	520	451	
HGT-160-6T/9-25		985		36,00	20,80	18,50	108000	87	563	494	
HGT-160-6T/9-30		980		43,00	24,80	22,00	130000	88	583	514	



Características técnicas

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m ³ /h)	Nivel de presión sonora dB(A)	Peso Aprox. Kg.	
		230V	400V	690V				HGT Larga	HGTX Corta
HGT-160-6T/9-40	985		56,00	32,30	30,00	150000	89	666	567
HGT-160-6T/9-50	985		69,00	39,80	37,00	158000	90	724	640
HGT-160-6T/9-60	985		92,00	53,10	45,00	174000	91	844	745
HGT-160-6T/9-75	990		102,00	58,90	55,00	190000	92	932	833
HGT-160-6T/9-100	990		139,00	80,30	75,00	202000	93	1002	903
HGT-160-8T/3-3	720	10,20	5,90		2,20	54000	76	327	275
HGT-160-8T/3-4	720	13,50	7,80		3,00	66000	77	334	282
HGT-160-8T/3-5,5	715	17,30	10,00		4,00	77000	79	380	326
HGT-160-8T/3-7,5	710		13,40	7,70	5,50	88000	80	393	339
HGT-160-8T/3-10	715		18,10	10,50	7,50	103000	81	423	369
HGT-160-8T/3-15	720		23,50	13,60	11,00	110000	83	496	427
HGT-160-8T/6-4	720	13,50	7,80		3,00	55000	76	344	292
HGT-160-8T/6-5,5	715	17,30	10,00		4,00	62000	77	391	337
HGT-160-8T/6-7,5	710		13,40	7,70	5,50	76000	79	404	350
HGT-160-8T/6-10	715		18,10	10,50	7,50	95000	80	434	380
HGT-160-8T/6-15	720		23,50	13,60	11,00	112000	82	506	437
HGT-160-8T/6-20	740		29,00	16,70	15,00	123000	83	563	494
HGT-160-8T/6-25	730		37,00	21,40	18,50	130000	84	641	542
HGT-160-8T/9-7,5	710		13,40	7,70	5,50	73000	79	414	360
HGT-160-8T/9-10	715		18,10	10,50	7,50	81000	80	444	390
HGT-160-8T/9-15	720		23,50	13,60	11,00	104000	82	516	447
HGT-160-8T/9-20	740		29,00	16,70	15,00	118000	83	573	504
HGT-160-8T/9-25	730		37,00	21,40	18,50	130000	84	651	552
HGT-160-8T/9-30	730		45,00	26,00	22,00	142000	85	666	567
HGT-160-8T/9-40	735		59,00	34,10	30,00	151000	86	724	640

Dimensiones mm



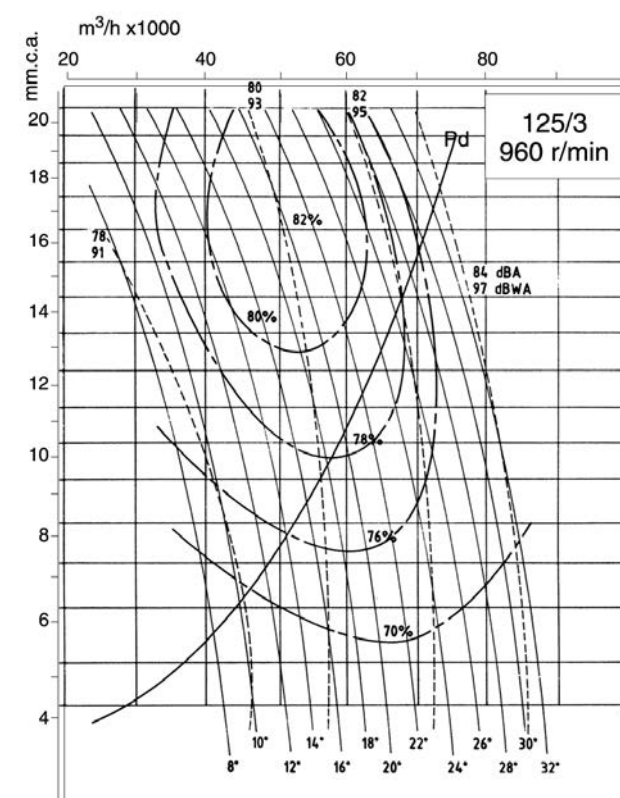
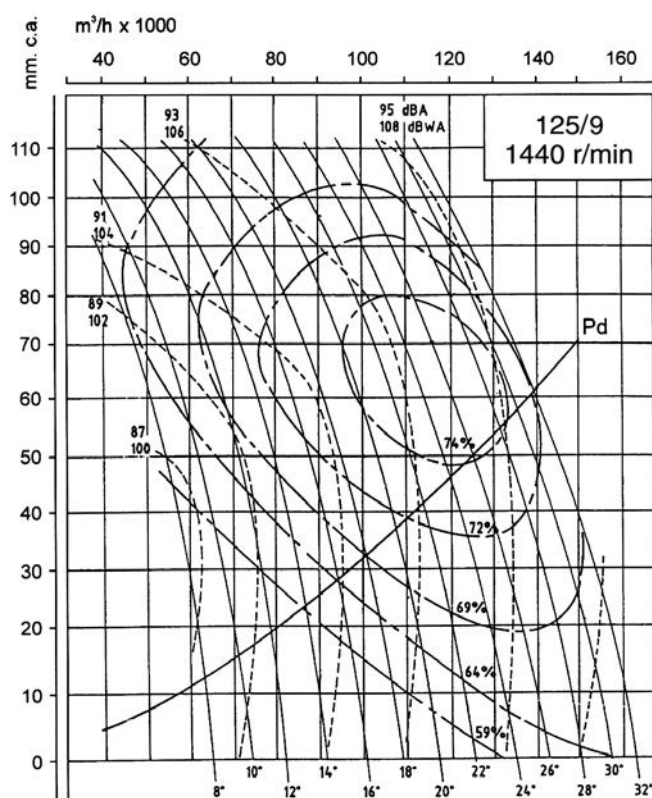
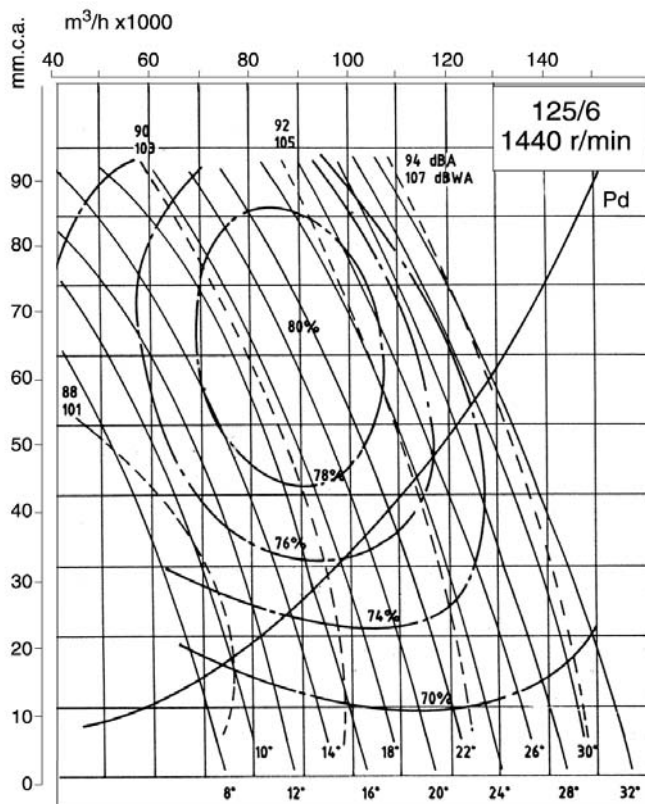
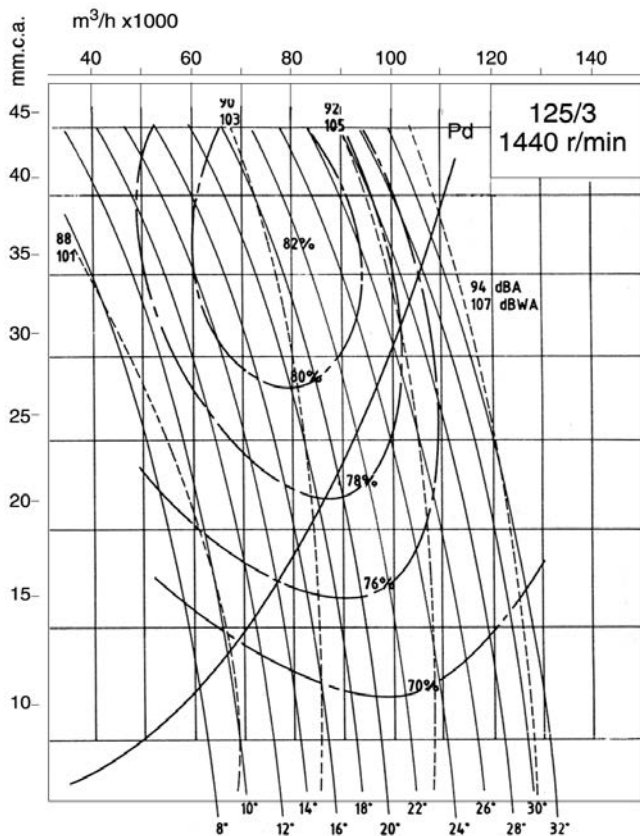
Modelo	ØA	ØB	C (consultar tamaño constructivo motor)						ØD	E		ØJ	N
			132	160	180	200	225	250		larga	corta		
HGT-125			570	-	-	-	-	-		700	500		
HGT-125			-	700	-	-	-	-		700	500		
HGT-125	1365	1320	-	-	765	825	-	-	1250	900	500	15	20x18°
HGT-125			-	-	-	-	910	-		1000	500		
HGT-125			-	-	-	-	-	985		1000	600		
HGT-140			570	-	-	-	-	-		650	400		
HGT-140			-	700	-	-	-	-		700	450		
HGT-140	1515	1470	-	-	765	825	-	-	1400	900	550	15	20x18°
HGT-140			-	-	-	-	910	-		1000	550		
HGT-140			-	-	-	-	-	985		1000	600		
HGT-160			570	-	-	-	-	-		650	400		
HGT-160			-	700	-	-	-	-		700	450		
HGT-160	1735	1680	-	-	765	825	-	-	1600	900	550	19	24x15°
HGT-160			-	-	-	-	910	-		1000	550		
HGT-160			-	-	-	-	-	985		1000	600		
HGT-160			-	-	-	-	-	1190		1200	700		



Curvas Características

Q = Caudal en m³/h.

Pe = Presión estática en mm.c.a.

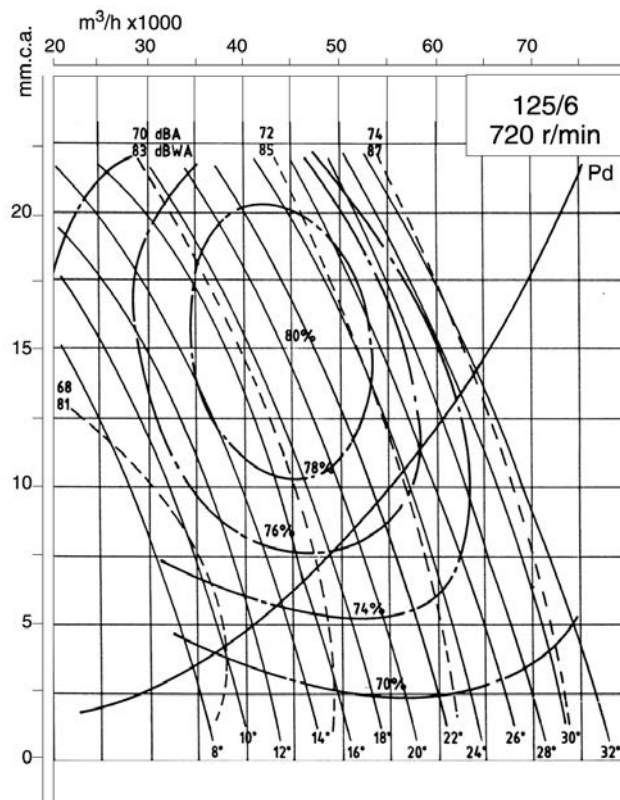
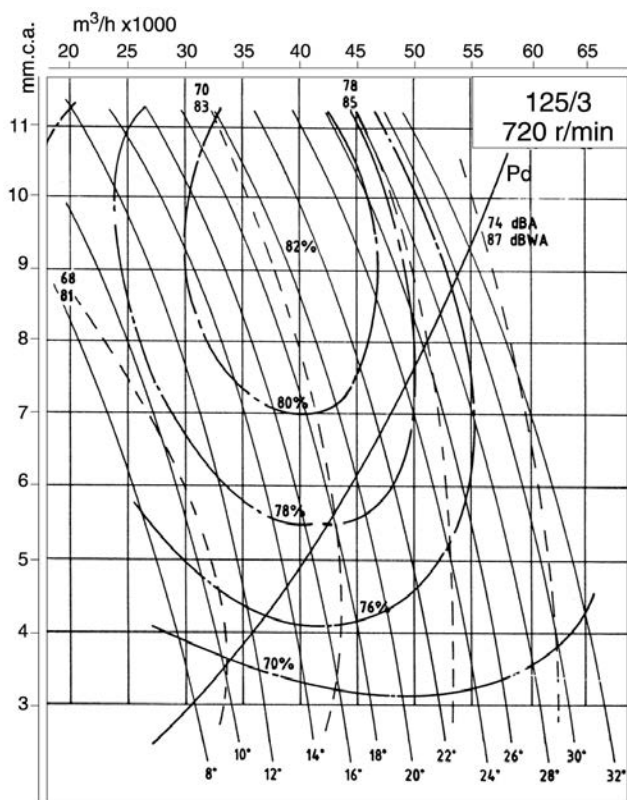
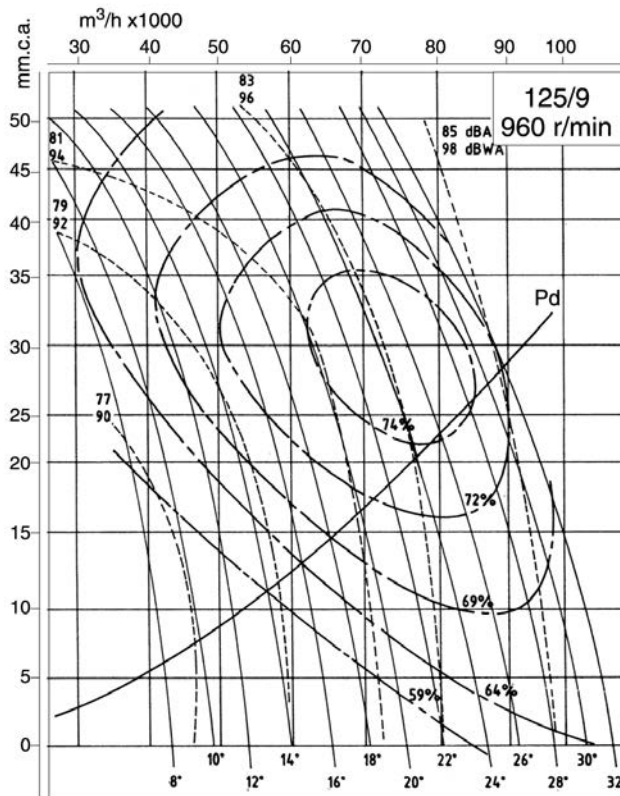
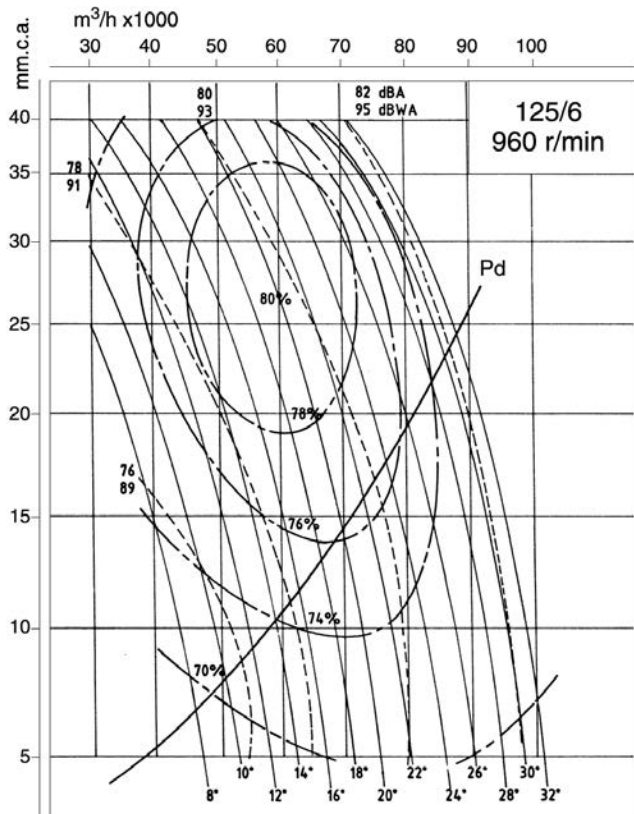




Curvas Características

Q = Caudal en m³/h.

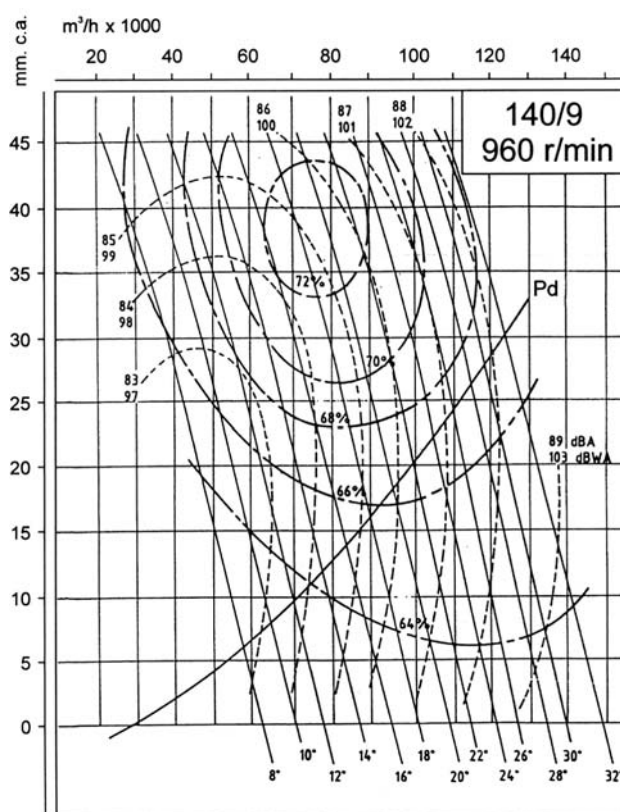
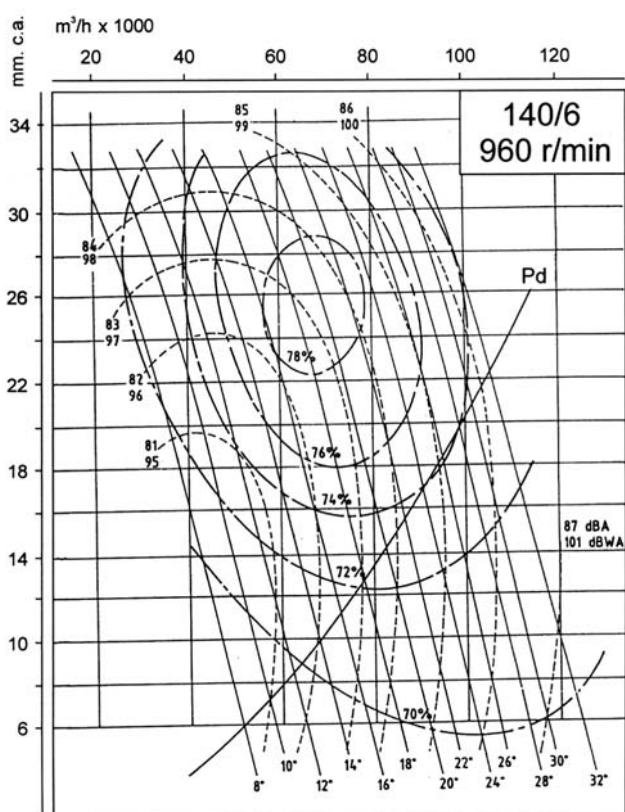
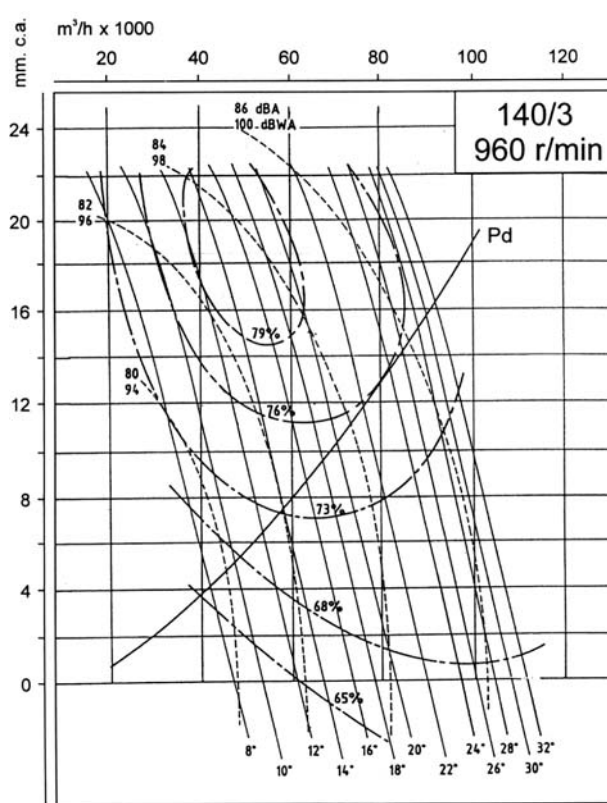
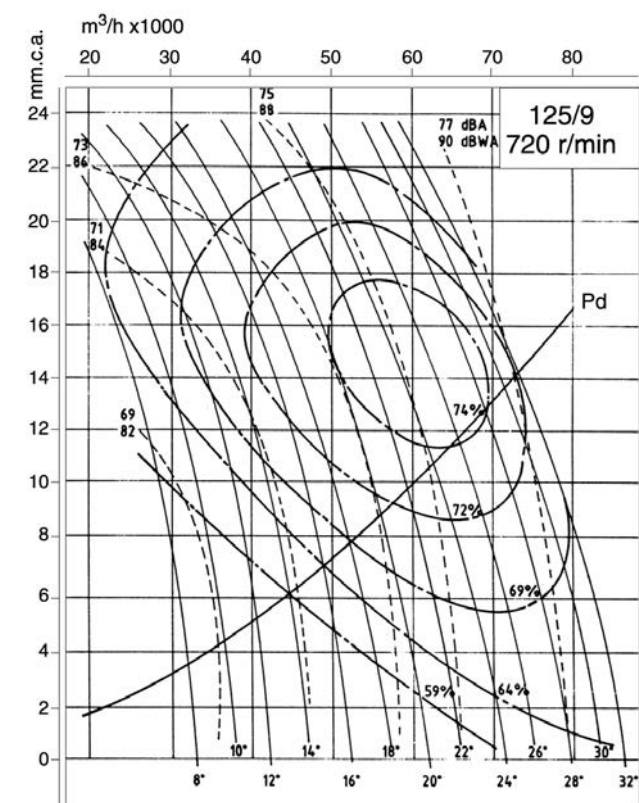
Pe = Presión estática en mm.c.a.





Curvas Características

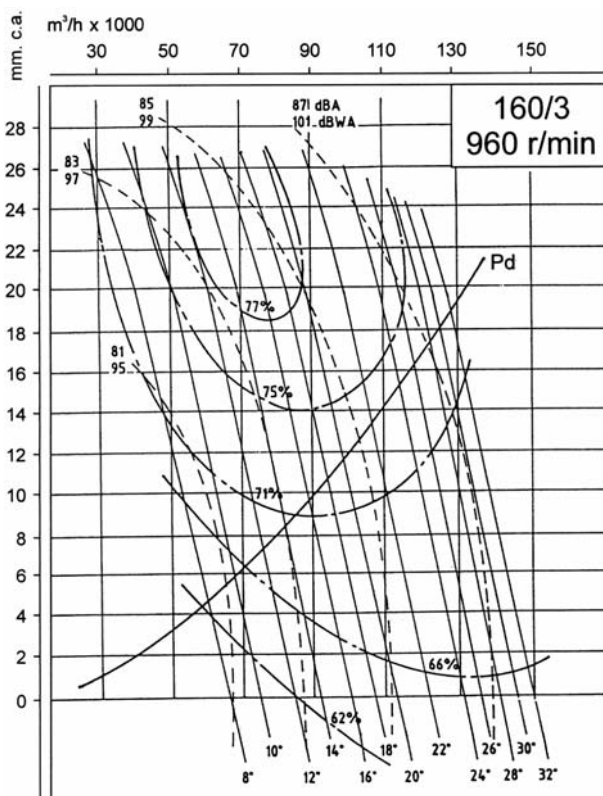
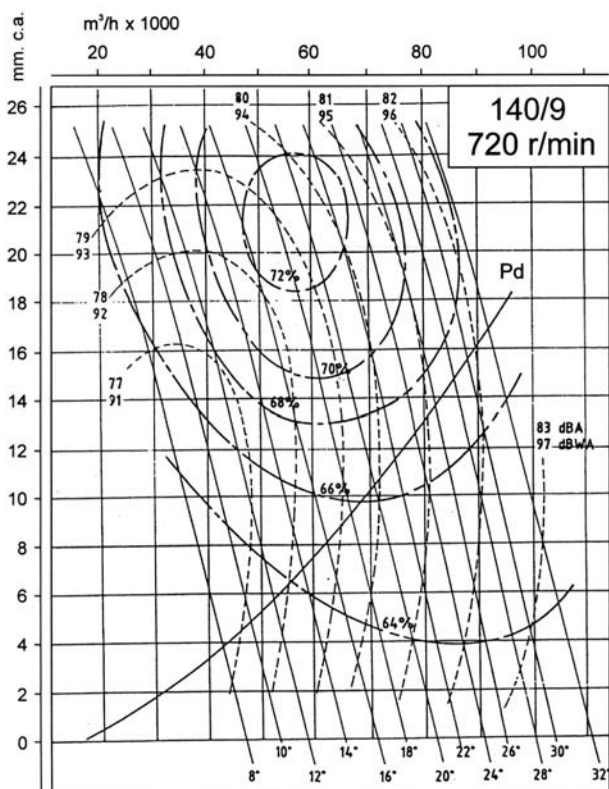
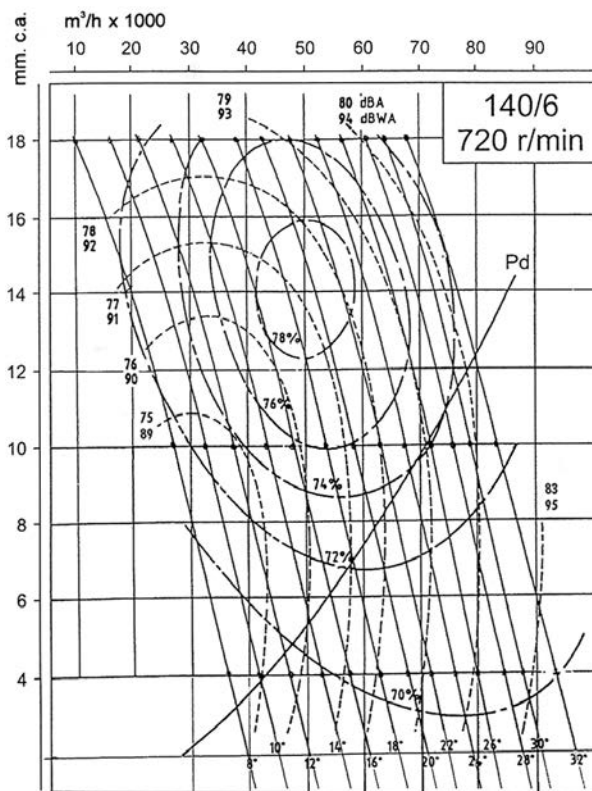
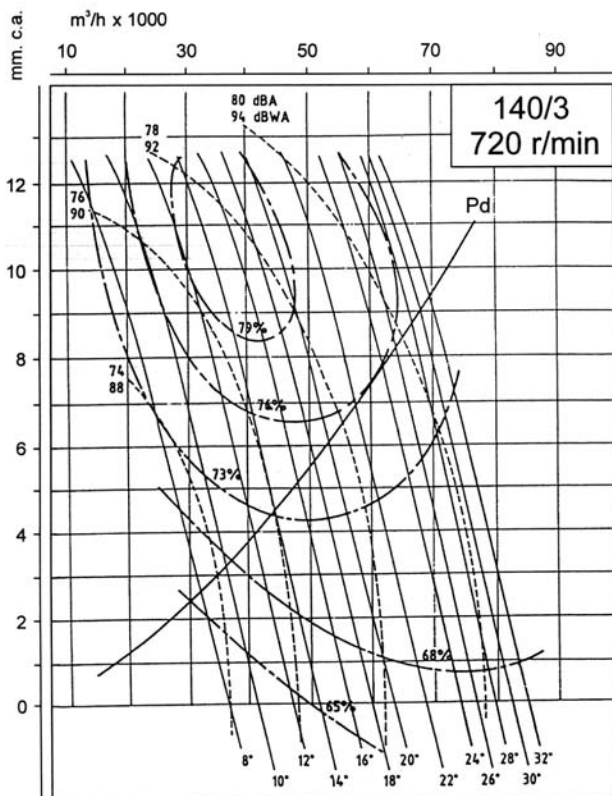
Q = Caudal en m³/h.
Pe = Presión estática en mm.c.a.





Curvas Características

Q = Caudal en m³/h.
Pe = Presión estática en mm.c.a.

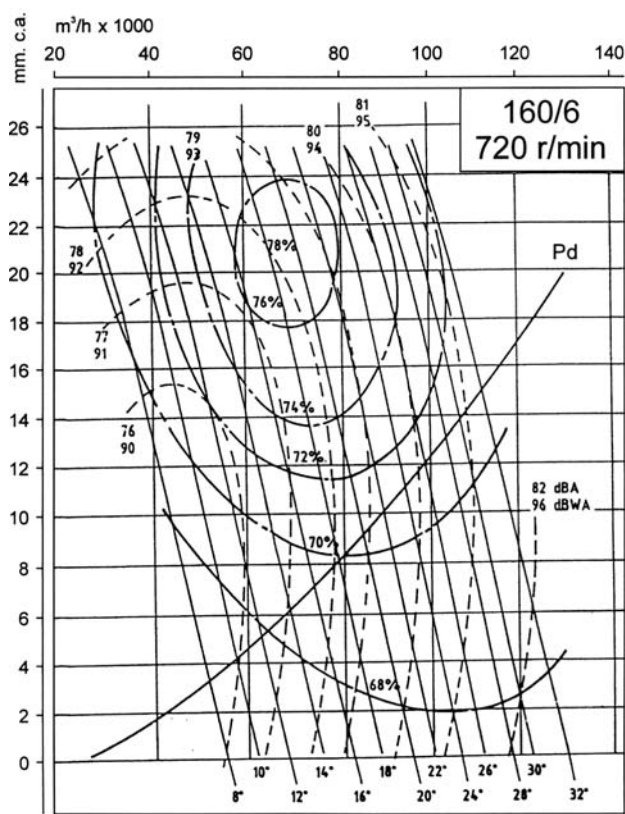
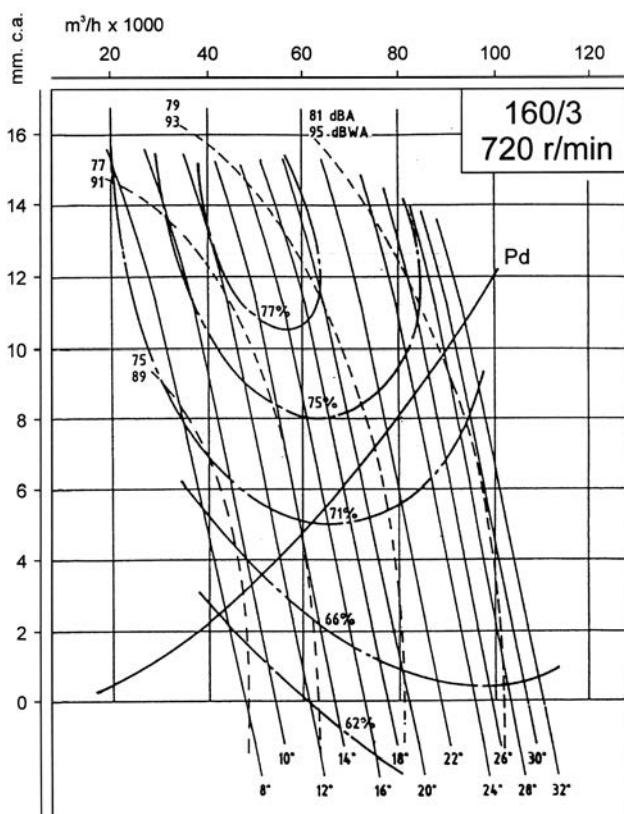
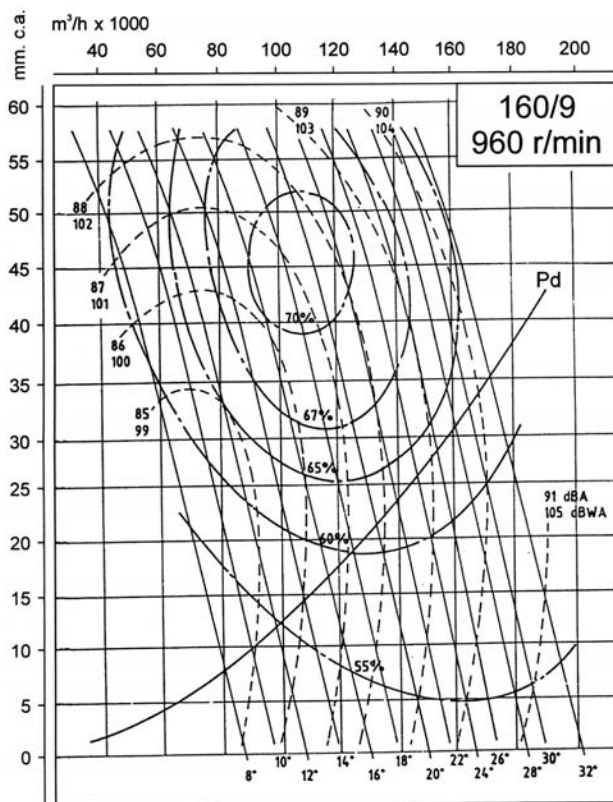
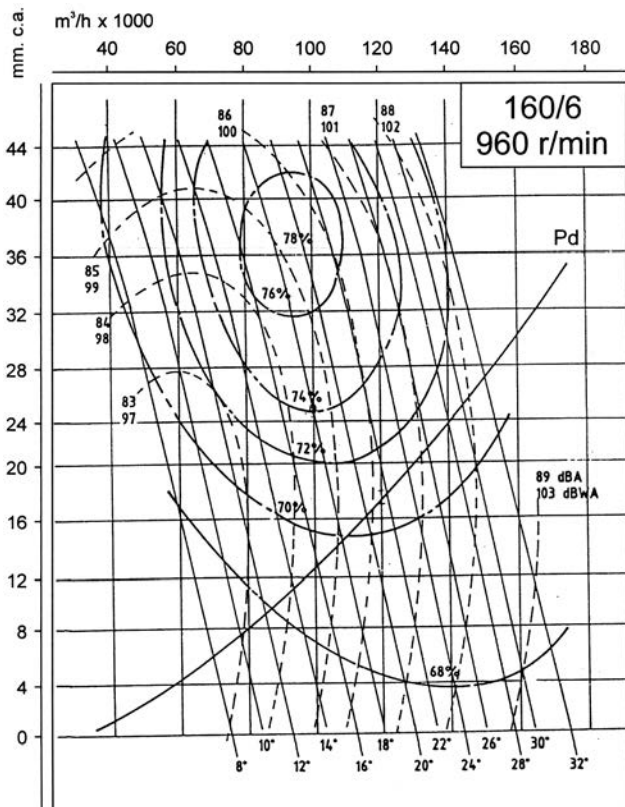




Curvas Características

Q = Caudal en m³/h.

Pe = Presión estática en mm.c.a.



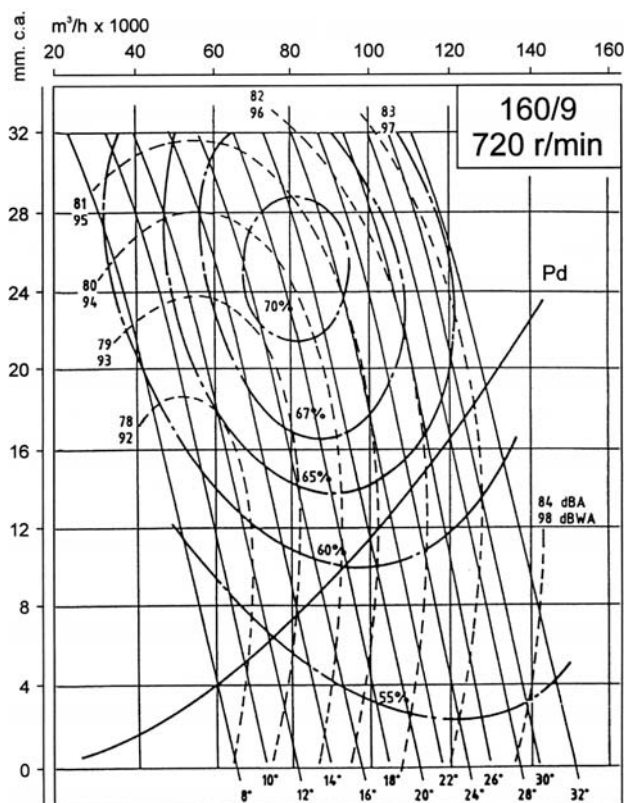


HGT: Ventiladores helicoidales tubulares de gran diámetro, con motor directo
HGTX: Ventiladores helicoidales tubulares de gran diámetro, con motor exterior

HGT HGTX

Curvas Características

Q = Caudal en m³/h.
Pe = Presión estática en mm.c.a.

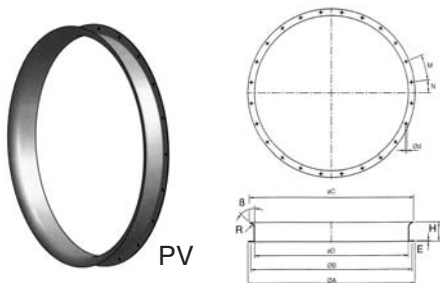


Código de Referencia

HGT	125	4	T	/	3	22°	25
Helicoidal tubular	Diámetro hélice en cm	Números de polos motor	Trifásico		Nº de palas de la hélice	Grados de inclinación de las palas	Potencia útil del motor en CV

Accesorio

Pabellón de aspiración.



	ØA	ØB	ØC	ØD	Ød	E	H	M	N	R	β
PV-1250	1365	1320	1360	1250	15	4	155	20x18°	9°	50	45
PV-1400	1520	1470	1510	1400	15	5	200	20x18°	9°	50	45
PV-1600	1740	1680	1710	1600	19	5	200	24x15°	7°30'	50	45

Accesorios

Ver apartado accesorios.



INT



C2V



AR



RFM



RT



BTUB



BAC



PS

Large long cased axial fans with direct drive motor

• Manufacturing features:



Long cased axial fans, supplied with 3, 6 or 9 blade aluminium impellers with different slope angles.

Fan:

- Sheet steel long casing
- Variable angle cast aluminium impellers
- The long cased version is supplied with an inspection hatch
- Airflow direction from motor to impeller

Motor:

- Class F external rotor motors, IP55 protection
- Three-phase 230/400V.-50Hz. (up to 5.5CV.) and 400/690V.-50Hz. (power over 5.5CV.)
- Working temperature: -25°C.+ 50°C.

Finish:

Anticorrosive finish in polyester resin, polymerised at 190°C, after alkaline degreasing and phosphate-free pre-treatment.

On Demand:

- Airflow direction from impeller to motor.
- 100% reversible impellers.
- Special windings for different voltages.
- ATEX certification, category 2

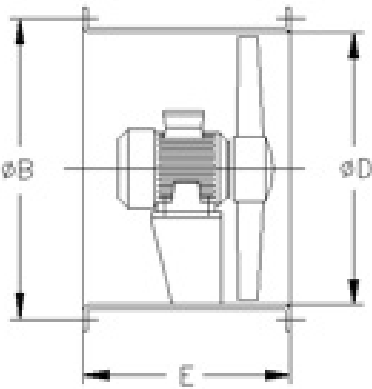
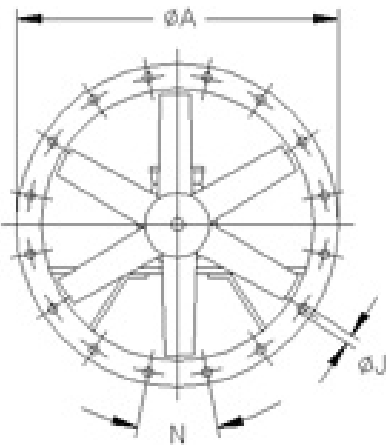
• Technical specifications:

R.P.M.	Imax 230 V	Imax 400 V	Imax 690 V	Power (Kw)	Airflow	NPS dB(A)	Weight
1470	0.0	35.00	20.20	18.50	96300	90	340.0

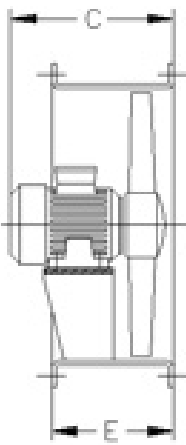
HGT-125-4T/6-14°-25



• Dimensions in mm:



LARGA



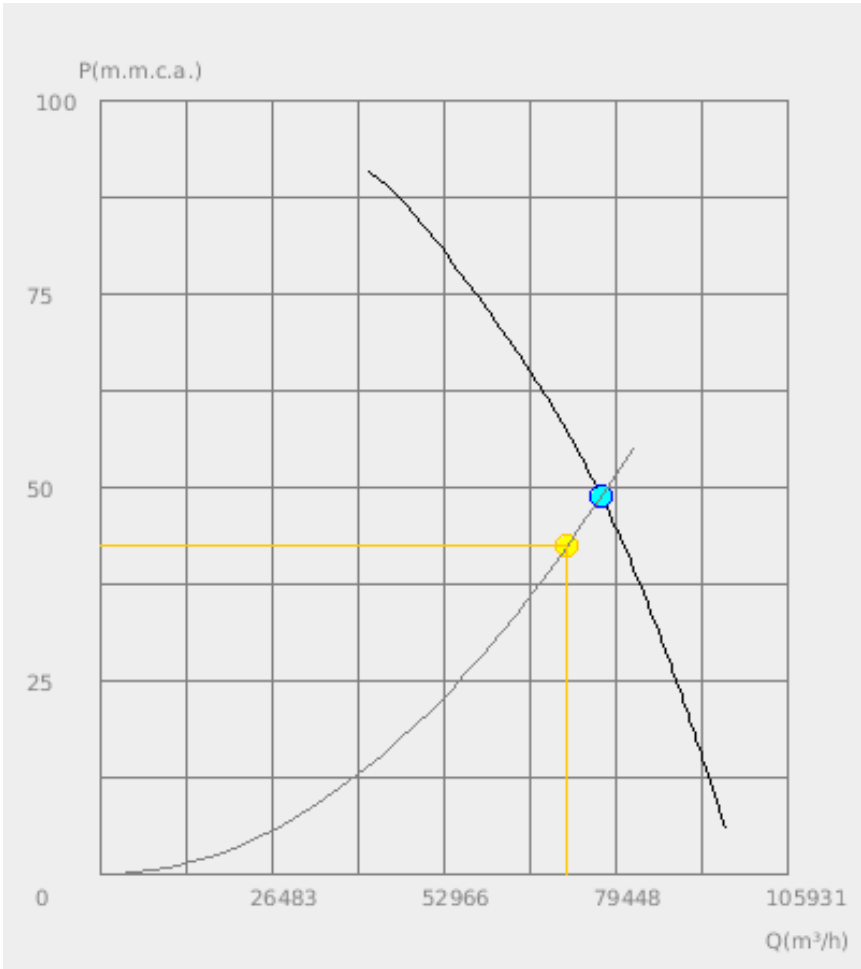
CORTA

A	B	C	D	E_CORTA	E_LARGA	J	N
1365	1320	765	1250	500	900	15	20x18°

HGT-125-4T/6-14°-25



• Performance curve:



Design point: Q = 72000.0 P = 42.50

Service point: Q = 77169.1 P = 48.83

• Sound Power Spectrum (LwA):

63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	dB(A)



T8 Polylux™ XL_R™ LongLast™ Range

Outstanding reliability with up to 46,000* hours life!

Description

- Very long and reliable product life up to 46,000* hours (on HF electronic gear)
- Superior service life – up to 34,000 hours (on HF electronic gear) – ideal for group replacements
- Comprehensive product range – 18W, 36W, 58W and 70W
- Light output as same as for standard T8 Polylux™ XL_R™ best in class performance
- Excellent (90%) lumen maintenance at service life
- Outstanding colour rendering through the advanced XL_R™ coating technology (Ra value of 85)
- Environmentally friendly product – ROHS compliant & contains recyclable components
- Can be used on existing control gears and fixtures
- up to 18% more light output than standard halophosphate tubes.

In today's business environment there is an increased need for lighting products that are helping to minimize operation costs and also providing environmentally responsible design. GE's new T8 Polylux™ XL_R™ LongLast™ range was designed to further improve reliability and drastically increase life performance without compromising on other key features of the product, such as initial lumen and lumen maintenance. These lamps provide a way to achieve even greater savings by providing extra long life, this premium product lowers maintenance costs. This is one reason why GE T8 Polylux™ XL_R™ LongLast™ lamps are suited to all retail, domestic, office and other commercial environments.

Colour description and main applications

Polylux™ XL_R™ LongLast™ 830 (Warm White)

Colour: Warm and welcoming.

Applications: Retail, Schools and Reception areas. Suitable for higher lighting levels.

Polylux™ XL_R™ LongLast™ 840 (Cool White)

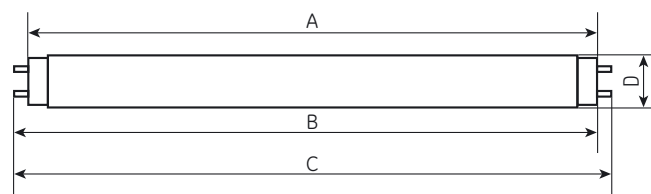
Colour: Cool colour favouring blues and greens.

Applications: Offices, Hospitals, Sports Halls and fastmoving Retail.

*12 hours burning cycle



Dimensions (mm)



	A		B		C	D
Lamp Rating	Max.	Max.	Min.	Max.	Max.	Max.
18W	589.8	596.9	594.5	604.0	26.0	
36W	1199.4	1206.5	1204.1	1213.6	26.0	
58W	1500.0	1507.1	1504.7	1514.2	26.0	
70W	1763.8	1770.9	1768.4	1778.0	26.0	

Lamp Rating	Fill gas
18W	Krypton/Argon
36W	Krypton/Argon
58W	Krypton/Argon
70W	Krypton/Argon



GE imagination at work

Polylux™ XLr™ Coating

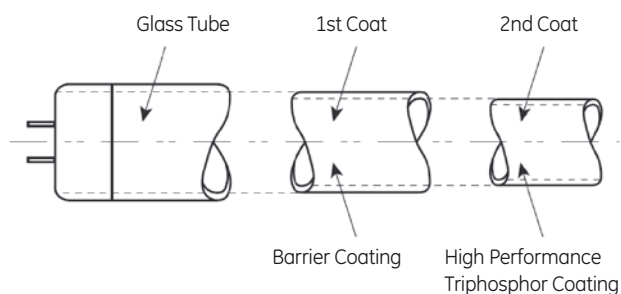


Fig. 1

Lumen Maintenance

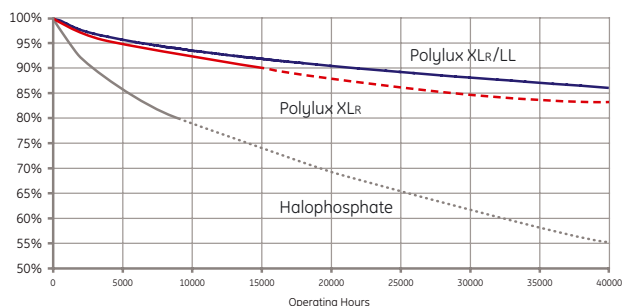


Fig. 2

Relative luminous flux

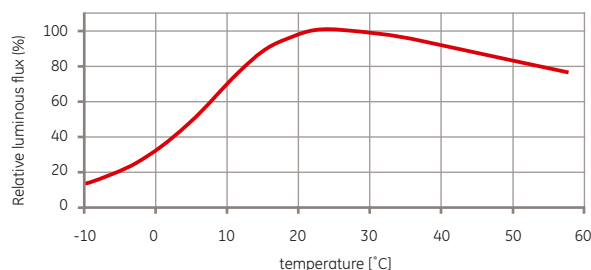


Fig. 3

Survival Rate

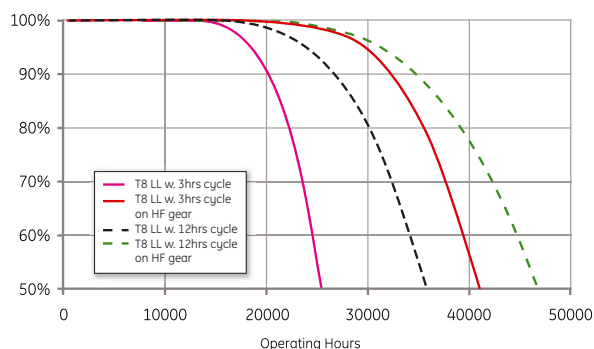


Fig. 4

Service life

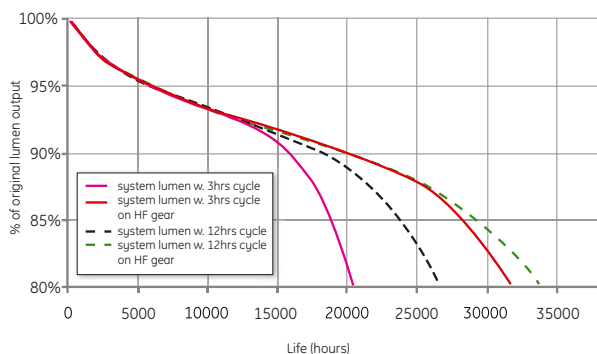


Fig. 5

Light output

Colour Rendering

One key property of the GE Polylux™ XLr™ LongLast™ lamps is the outstanding colour reproduction. With a CRI (Ra) of 85, GE Polylux™ XLr™ LongLast™ lamps offer considerably improved colour rendering than standard halophosphate lamps.

Lumen Maintenance

The high lumen maintenance properties of Polylux™ XLr™ LongLast™ are achieved through the introduction of two major changes to conventional coating technology:

- only high performance triphosphor powders are used
- lumen depreciation resulting from mercury absorption into the glass is effectively eliminated, through the use of a barrier pre-coat. (See Fig.1 & 2).

Light Output and the Effect of Temperature

The Lumen Output figures quoted relate to measurements made according to IEC requirements ie. using a reference ballast with the lamp operated in still air conditions at 25 °C (± 1 °C).

The light output from conventional fluorescent lamps will depend on the surrounding air temperature or any cooling effects arising from air draughts that occur whether deliberate (air handling fitting) or unplanned. A typical relationship is shown opposite in Fig.3.

Lamp life

Improved Lamp Life for GE Polylux™ XLr™ LongLast™ Lamps

To take full advantage of the superb maintenance characteristics of the Polylux™ XLr™ LongLast™ range, GE Lighting have made a design change to the inert fill gas pressure to improve lamp life. This change is sufficiently modest not to impact on any other of the lamp parameters.

The quoted lamp life is the "average rated lamp life" which is the average value obtained on a three hour switching cycle (15 minute OFF period following 2 hrs 45 mins running time) or on a twelve-hour switching cycle (15 minute OFF period following 11 hrs 45 mins running time) using control gear meeting IEC specification. This will be the point in time at which 50% of the lamps originally installed are still operating.

Given this definition, in an installation using Polylux™ XLr™ LongLast lamps and glow starters, 50% of the lamps will still be burning after 24,000 hours, for an installation using approved pre-heat electronic ballast the life will increase to 42,000-46,000 hours depending on the switching cycle. (See Fig.4).

Service life

Average number of burning hours at 80% of original light output measured according to IEC standard. IEC 60082/EN60081.

(See Fig.5).

Effect Switching on Lamp Life

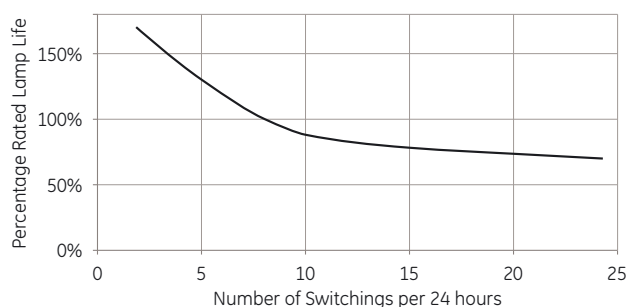


Fig. 5

The Effect of Switching on Lamp Life

When a fluorescent lamp is operating, a small amount of the electron emissive material held on the cathodes is continually consumed, the rate of consumption increasing with higher lamp current. Additionally, when starting the lamp (or when switching off and on during normal operation), a relatively large amount of emitter material can be dislodged through sputtering. In such cases the start is sufficiently damaging, particularly when using "cold start" ballasts, to progressively destroy the effectiveness of the emitter and thereby shortening lamp life.

A good start will preheat the lamp cathodes so that when the lamp starting voltage is applied, the cathodes are already emitting electrons and the damage through loss of the emissive material is minimised.

High frequency electronic ballasts of the preheating (warm start) type can give a consistent and highly controlled starting regime so that the effect of switching on lamp life is considerably less marked than that occurring with a glow starter. (See Fig.5).

T8 Polylux XLTM LongLastTM Lamps

Specification summary

according to EN60081, IEC 60081 - data sheets

Lamp Type	W	18	36	58	70
General					
Cap		G13	G13	G13	G13
Operation		with EM gear	with EM gear	with EM gear	with EM gear
Cathode		preheated	preheated	preheated	preheated
Recommended burning position		horizontal	horizontal	horizontal	horizontal
Available correlated colour temperature range	K	2940, 4040	2940, 4040	2940, 4040	2940, 4040
Ordering information (25-way bulk pack)					
830 - CCT 3000K		70980	43508	43510	43513
840 - CCT 4000K		70981	43509	43511	43514
Electrical and photometric characteristics at 25°C					
Rated wattage	W	18	36	58	70
Rated lamp voltage	V	57 V	103 V	110 V	128 V
Rated lamp current	A	370 mA	430 mA	670 mA	700 mA
Operating frequency	Hz	50	50	50	50
Rated luminous flux	Lm	1350	3350	5200	6300
Temperature range (90% light output, horizontal)	°C	14...38	14...38	14...38	14...38
Colour rendering index	Ra	85	85	85	85
Typical UV PET	h	>100h	>100h	>100h	>100h
Lifetime performance, with EM ballast					
Median life (2h45min on, 15 min off cycle)	h	24.000	24.000	24.000	24.000
Service life (2h45min on, 15 min off cycle)	h	21.000	21.000	21.000	21.000
Median life (11h45min on, 15 min off cycle)	h	36.000	36.000	36.000	36.000
Service life (11h45min on, 15 min off cycle)	h	27.000	27.000	27.000	27.000
Lifetime performance with HF electronic ballast					
Median life (2h45min on, 15 min off cycle)	h	42.000	42.000	42.000	42.000
Service life (2h45min on, 15 min off cycle)	h	32.000	32.000	32.000	32.000
Median life (11h45min on, 15 min off cycle)	h	46.000	46.000	46.000	46.000
Service life (11h45min on, 15 min off cycle)	h	34.000	34.000	34.000	34.000
Lumen maintenance (@ 21 000 h)	%	90	90	90	90
Rapid cycling switches (5 min on, 5 min off)	cycles	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000
Starting characteristics (HF)					
Preheat current for starting test	mA	670	670	1000	1000
Preheat time for starting test	s	2	2	2	2
Starting time	s	<3,5	<3,5	<3,5	<3,5
Warm-up time	s	<45sec	<45sec	<45sec	<45sec
Starting ambient temperature range	°C	-10...50C	-10...50C	-10...50C	-10...50C
Starting voltage	V	<280	<330	<335	<465
Cathode characteristics					
Cold resistance	Ω	2..4	2.1	1.7	1.3
Test current	mA	370	430	670	700
Steady-state cathode voltage at I _{test}	V	4..5	4.8	9.2	5.6
Cathode voltage at I _{test} after 2,0 sec	V	2	2.1	7.8	2.6

Effect of supply voltage variation on 50 Hz lamp characteristics

The following values are generalisations and should be treated only as an indication of the trend in the characteristic across the 18W-70W lamp range.

18W	Lumens	Lamp Voltage	Lamp Current	Lamp Wattage
90% Supply	85%	106%	80%	85%
100% Supply	100%	100%	100%	100%
110% Supply	112%	96%	118%	113%
36W	Lumens	Lamp Voltage	Lamp Current	Lamp Wattage
90% Supply	86%	107%	81%	87%
100% Supply	100%	100%	100%	100%
110% Supply	110%	96%	117%	112%
58W	Lumens	Lamp Voltage	Lamp Current	Lamp Wattage
90% Supply	85%	110%	76%	83%
100% Supply	100%	100%	100%	100%
110% Supply	109%	92%	121%	113%
70W	Lumens	Lamp Voltage	Lamp Current	Lamp Wattage
90% Supply	82%	114%	71%	80%
100% Supply	100%	100%	100%	100%
110% Supply	109%	91%	126%	115%

Operation with high frequency ballasts

High Frequency Lamp Operation

High frequency circuits intended for use with lamps originally designed to operate at mains frequency, take advantage of the improved luminous efficacy of high frequency operation to achieve virtually the same lumens but at a lower power loading compared to the 50Hz circuit. This reduced lamp loading enables an increase in life to be achieved without a serious loss in light output compared to the mains frequency circuit. In fact the circuits are designed to give around 95% of the equivalent mains frequency circuit light output, but this loss is usually more than compensated for when the lamp is operated in a luminaire because the lower micro-ambient temperature of the fitting gives an improvement in efficacy. (See Fig.3)

Advantages of high frequency lamp operation

The operation of fluorescent lamps at high frequency offers a number of benefits:

- **Improved light and energy efficiency**

This occurs because there is a reduction in the losses in the

lamp (lower end losses because of the reduction in cathode fall voltage) and normally the control circuit has much lower power losses than the equivalent mains frequency circuit.

- **Improved life (compared with glow starter equivalent circuit)**

Lamp life is directly related to the lamp current because the rate of emitter usage is determined by the lamp current. The proportional increase in lamp life resulting from the decrease in lamp current will not be fully realised, as the lamp's cathode design has been optimised for mains frequency operation. However, the effect of non-optimised cathode design is only slight and the PolyLux™ XLr™ LongLast™ lamp life will increase from 24,000 hours using switch-start circuits up to 46,000 hours using high frequency circuits.

As an example the 36W lamp runs at 32W in high frequency circuits which lowers the lamp current from 430mA to 320mA. This is an approximate 25% reduction in lamp current which produces an associated 75% improvement in life from 24,000 hours up to 46,000 hours.

Additionally the controlled preheating that is provided by a warm start electronic ballast ensures that emitter loss during starting is minimised so that the effect of switching on life is minimal. (See Fig.5).

Reference Ballast Characteristics

Fluorescent Lamp			Ballast Characteristics			
Rating	Length (mm)	Watt (lamp)	Rated Voltage V	Calibration Current A	Ratio V/A	Power Factor
18W	600	20	220	0.37	270	0.12
36W	1200	40	220	0.43	390	0.10
58W	1500	65	220	0.67	240	0.10
70W	1800	65	240	0.70	240	0.10

High Frequency Ballasts approved by GE Lighting

The list given is not considered to be comprehensive, but merely indicates the ballasts tested by GE Lighting in co-operation with independent gear manufacturers. Ballasts produced by other reputable control gear manufacturers meeting the relevant IEC standards would also be considered as suitable.

Suggested control gears

Type	HF	Electro-Magnetic (Conventional)	
	Electronic gear	Glow starter	El. starter
18W	HELVAR EL1x18HF	not tested*	not tested*
36W	HELVAR EL1x36HF	not tested*	not tested*
58W	GE BLS/E/1x58W Tridonic.Atco PC 1/58 T8 PRO	Philips S10	Ökostart Öko6
70W	GE BLS/E/1x70W	GE 155/801	Ökostart Öko6

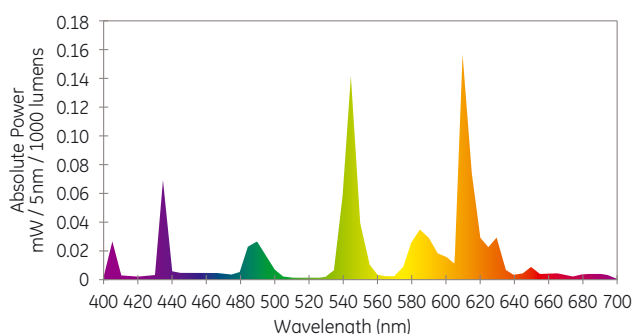
* Same as Polylux XLr

Spectral distribution

Spectral Power Distribution curves provide the user with a visual profile of the colour characteristics of a light source. Fluorescent lamps combine a continuous spectra from their phosphor with the line spectra of the mercury discharge.

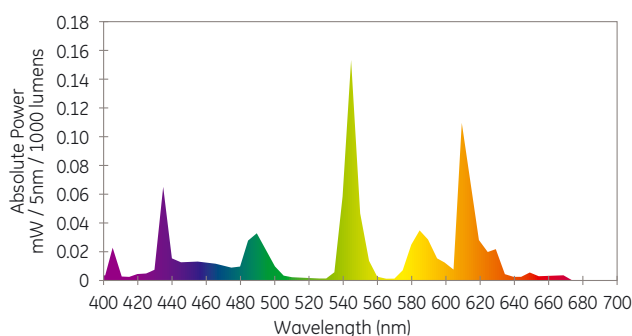
Polylux™ XLr™ LongLast™ 830

x=0.440 y=0.402 CCT 2950



Polylux™ XLr™ LongLast™ 840

x=0.380 y=0.377 CCT 4000



International standards applicable to linear fluorescent lamps

All GE Lighting linear fluorescent lamps conform to the applicable standards listed below.

Standard	Title
EN 60081	Tubular Fluorescent Lamps - Performance requirements
EN 61195	Tubular Fluorescent Lamps - Safety requirements
EN 60155	Glow Starters
EN 60920	Ballasts for Tubular Fluorescent Lamps - General and Safety requirements
EN 60921	Ballasts for Tubular Fluorescent Lamps - Performance requirements
EN 60924	DC Supplied Electronic Ballasts for Tubular Fluorescent Lamps - General and Safety requirements
EN 60925	DC Supplied Electronic Ballasts for Tubular Fluorescent Lamps - Performance requirements
EN 60928	AC Supplied Electronic Ballasts for Tubular Fluorescent Lamps - General and Safety requirements
EN 60929	AC Supplied Electronic Ballasts for Tubular Fluorescent Lamps - Performance requirements

CE marking of linear fluorescent lamps

All GE Lighting products supplied in the European Community (EC) meet the requirements of the Low Voltage Directive (LVD) and are CE Marked as required by the LVD.

The LVD 73/23/EEC of the EC was introduced in February 1973. The aim of the directive is to ensure that all electrical equipment operating on normal-user voltage supplies of between 50 and 1000 V rms. AC (also between 75 and 1500V DC) are safe in all respects related to their electrical properties. The LVD originated with no marking requirements.

CE Marking requirements (denoting product compliance with the LVD) were added by amending Directive 93/68/EEC in August 1993. The LVD is a legal requirement enforceable in each country by reference to the national law of that country adopting the directive. The application of the CE mark itself became a legal requirement in January 1997.

Compliance with the LVD is demonstrated by compliance with the relevant EN safety specification requirements for a particular product. The LVD requires that both the Product and the Quality System under which the product is manufactured meet the requirements of the relevant specifications. The LVD requires any electrical product falling within its scope for sale in the EC is CE Marked and that the supplier holds a Declaration of Conformity declaring conformity with the LVD.



Pacific TCW216

Beneficios

- Luminaria estanca para uso en ambientes de polvo y/o humedad
- Facilidad de instalación por sus clips a techo incluidos y por la fijación del difusor a la carcasa sin clips, manteniendo la estanqueidad
- Disponible con lámparas TL-D y también versiones TL5 para mayor eficiencia

Características

- A prueba de impactos, polvo, chorros de agua y vandalismo
- Lámparas fluorescentes TL-D o TL5 (16 mm)
- Montaje individual o en línea
- También disponible en versiones para altas temperaturas (+50 °C) y bajas temperaturas (-30 °C)

Aplicaciones

- Industria
- Espacios de trabajo interiores
- Aparcamientos
- Almacenes frigoríficos -25/-30 °C (XAP)

Especificaciones

• Tipo	TCW216	• Conexión eléctrica	Conector Push-in (PI)
• Tipo de lámpara	Fluorescente: - 1 ó 2 MASTER TL5 / G5 / 14, 28, 49, 54, 80 W - 1 ó 2 MASTER TL-D / G13 / 18, 36, 58 W	• Opción	Alumbrado de emergencia: - 1 hora (EL1), 3 horas (EL3) Cableado pasante: - 1 fase, 10 A (TW1-10A) - 3 fases, 5 x 1,5 mm ² (TW3) ATEX: Zona 2 y 22, grupo de gases 3C, clase de temperatura T6 (Z2/22-3C-T6)
• Lámpara incluida	No		
• Equipo	Electrónico, 220 - 240 V / 50 - 60 Hz: - (HFS, HFP, HFR y HFR-TD)		

Productos relacionados

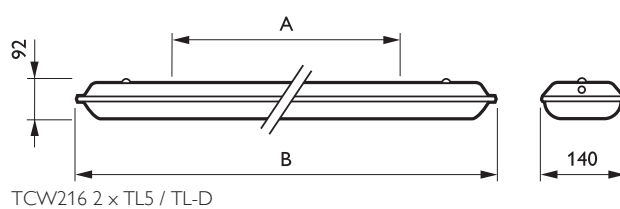
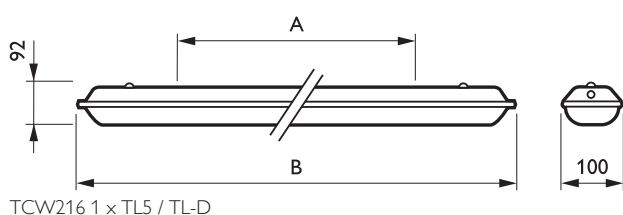
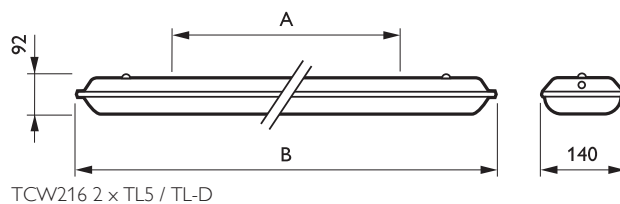
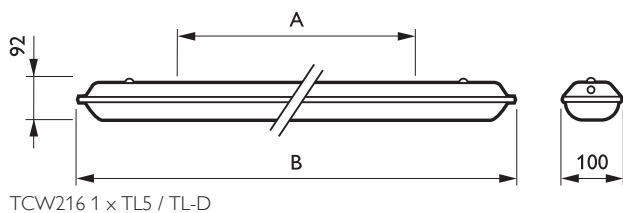


Luminaria Pacific TCW216 a prueba de impactos, vandalismo, polvo y humedad, para lámpara fluorescente TL-D o TL5, versión 1 lámpara



Luminaria Pacific TCW216 a prueba de impactos, vandalismo, polvo y humedad, para lámparas fluorescentes TL-D o TL5, versión 2 lámparas

Plano de dimensiones



Información general (1/2)

Código de pedido	Código de gama de producto	Número de lámparas	Sistema óptico	Tipo de la lámpara	Potencia de lámpara	Color de luz	Alumbrado de emergencia	Código IP	Equipo	Compensación	Clase de seguridad
291833 00	TCW216	1	No	TL-D	18	-	No	IP66	HFP	No	CLI
291857 00	TCW216	1	No	TL-D	36	-	No	IP66	HFP	No	CLI
291871 00	TCW216	1	No	TL-D	58	-	No	IP66	HFP	No	CLI
292830 00	TCW216	1	No	TL-D	36	-	No	IP66	HFR	No	CLI
292854 00	TCW216	1	No	TL-D	58	-	No	IP66	HFR	No	CLI

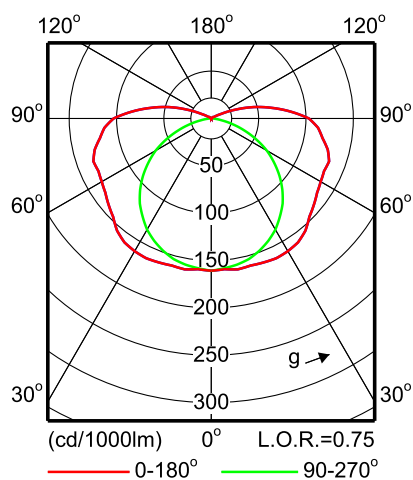
Código de pedido	Código de gama de producto	Número de lámparas	Sistema óptico	Tipo de la lámpara	Potencia de lámpara	Color de luz	Alumbrado de emergencia	Código IP	Equipo	Compensación	Clase de seguridad
293271 00	TCW216	1	No	TL-D	18	-	EL1	IP66	HFP	No	CLI
293295 00	TCW216	1	No	TL-D	36	-	EL1	IP66	HFP	No	CLI
293318 00	TCW216	1	No	TL-D	58	-	EL1	IP66	HFP	No	CLI
293059 00	TCW216	1	No	TL5	49	-	No	IP66	HFP	No	CLI
682341 00	TCW216	1	No	TL-D	58	840	No	IP66	HFP	No	CLI
296180 00	TCW216	1	No	TL5	49	840	No	IP66	HFP	No	CLI
301792 00	TCW216	1	No	TL5	14	840	No	IP66	HFP	No	CLI
591569 00	TCW216	1	No	TL-D	36	840	No	IP66	HFP	No	CLI
591576 00	TCW216	1	No	TL-D	58	840	No	IP66	HFP	No	CLI
291840 00	TCW216	2	No	TL-D	18	-	No	IP66	HFP	No	CLI
103471 00	TCW216	2	No	TL-D	36	-	No	IP66	HFP	No	CLI
291888 00	TCW216	2	No	TL-D	58	-	No	IP66	HFP	No	CLI
292847 00	TCW216	2	No	TL-D	36	-	No	IP66	HFR	No	CLI
292861 00	TCW216	2	No	TL-D	58	-	No	IP66	HFR	No	CLI
293288 00	TCW216	2	No	TL-D	18	-	EL1	IP66	HFP	No	CLI
293301 00	TCW216	2	No	TL-D	36	-	EL1	IP66	HFP	No	CLI
293325 00	TCW216	2	No	TL-D	58	-	EL1	IP66	HFP	No	CLI
293066 00	TCW216	2	No	TL5	49	-	No	IP66	HFP	No	CLI
304397 00	TCW216	2	No	TL5	49	840	EL3	IP66	HFP	No	CLI
682426 00	TCW216	2	No	TL-D	58	840	No	IP66	HFP	No	CLI
692289 00	TCW216	2	No	TL-D	58	-	No	IP66	HFP	No	CLI
295763 00	TCW216	2	No	TL5	49	840	No	IP66	HFP	No	CLI
591583 00	TCW216	2	No	TL-D	36	840	No	IP66	HFP	No	CLI
591590 00	TCW216	2	No	TL-D	58	840	No	IP66	HFP	No	CLI

Información general (2/2)

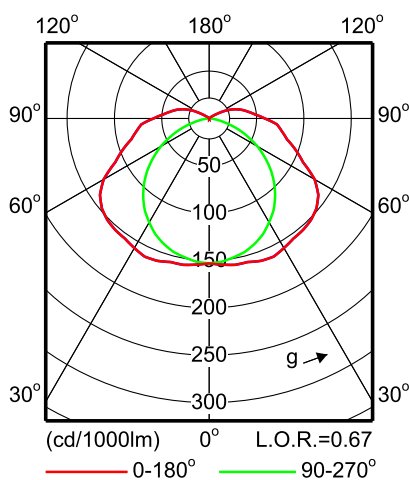
Código de pedido	Código de gama de producto	Protección contra inflamación	Test del hilo incandescente	Versión de país	Accesorios mecánicos	Código IK	Clase de riesgo de explosión	Marcado CE	Marcado ENEC
291833 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
291857 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
291871 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
292830 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
292854 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
293271 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
293295 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
293318 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
293059 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
682341 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
296180 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
301792 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
591569 00	TCW216	F	850/5	No	AD	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
591576 00	TCW216	F	850/5	No	AD	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
291840 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
103471 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC

Código de pedido	Código de gama de producto	Protección contra inflamación	Test del hilo incandescente	Versión de país	Accesorios mecánicos	Código IK	Clase de riesgo de explosión	Marcado CE	Marcado ENEC
291888 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
292847 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
292861 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
293288 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
293301 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
293325 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
293066 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
304397 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
682426 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
692289 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	Z2/22-3C-T6	Marcado CE	Marcado ENEC
295763 00	TCW216	F	850/5	No	No	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
591583 00	TCW216	F	850/5	No	AD	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC
591590 00	TCW216	F	850/5	No	AD	IK08	No	Marcado CE	Marcado ENEC

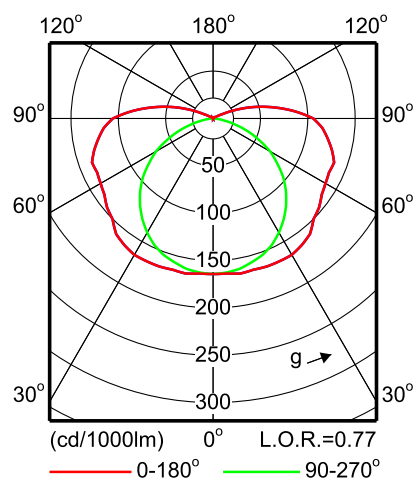
Datos fotométricos



TCW216 1xTL-D18W HFP

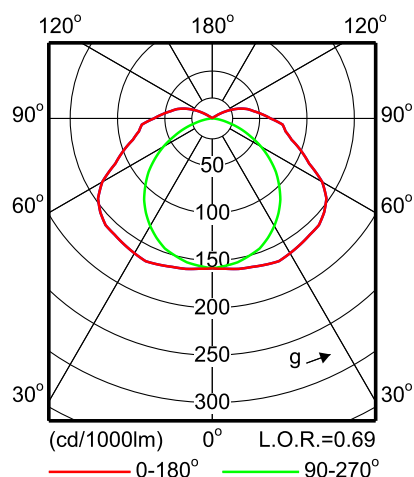


TCW216 2xTL-D18W HFP

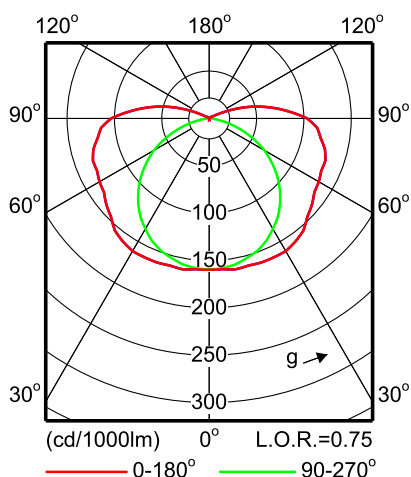


TCW216 1xTL-D36W HFP

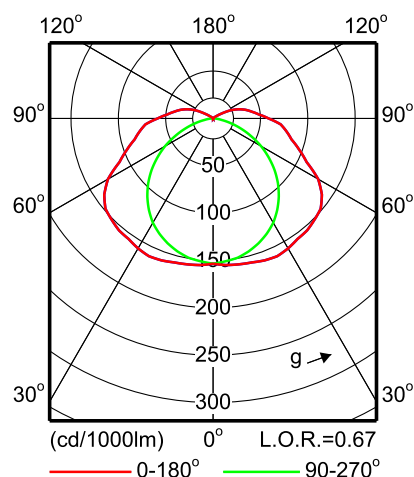
Datos fotométricos



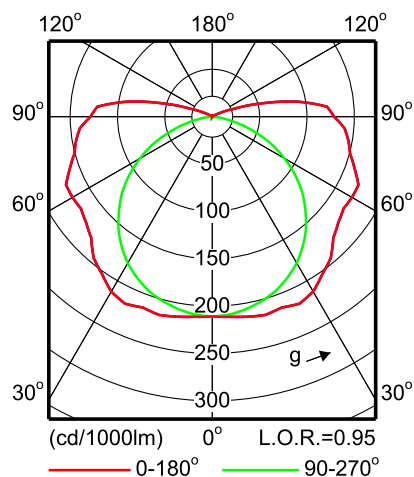
TCW216 2xTL-D36W HFP



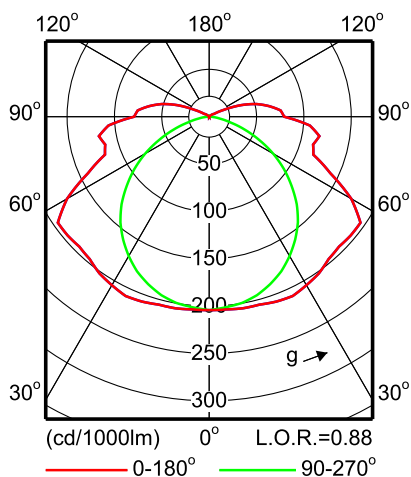
TCW216 1xTL-D58W HFP



TCW216 2xTL-D58W HFP



TCW216 1xTL5-49W HFP



TCW216 2xTL5-49W HFP

Datos Eléctricos

Código de pedido	Código de gama de producto	Tensión de red
291833 00	TCW216	230-240
291857 00	TCW216	230-240
291871 00	TCW216	230-240
292830 00	TCW216	230-240
292854 00	TCW216	230-240
293271 00	TCW216	230-240
293295 00	TCW216	230-240
293318 00	TCW216	230-240
293059 00	TCW216	230-240
682341 00	TCW216	230-240
296180 00	TCW216	230-240
301792 00	TCW216	230-240

Código de pedido	Código de gama de producto	Tensión de red
591569 00	TCW216	230-240
591576 00	TCW216	230-240
291840 00	TCW216	230-240
103471 00	TCW216	230-240
291888 00	TCW216	230-240
292847 00	TCW216	230-240
292861 00	TCW216	230-240
293288 00	TCW216	230-240
293301 00	TCW216	230-240
293325 00	TCW216	230-240
293066 00	TCW216	230-240
304397 00	TCW216	230-240

Código de pedido	Código de gama de producto	Tensión de red
682426 00	TCW216	230-240
692289 00	TCW216	230-240
295763 00	TCW216	230-240
591583 00	TCW216	230-240
591590 00	TCW216	230-240

Mecánico

Código de pedido	Código de gama de producto	Accesorios mecánicos	Configuración de carcasa 2
291833 00	TCW216	No	H1L
291857 00	TCW216	No	H1L
291871 00	TCW216	No	H1L
292830 00	TCW216	No	H1L
292854 00	TCW216	No	H1L
293271 00	TCW216	No	H2L
293295 00	TCW216	No	H1L
293318 00	TCW216	No	H1L
293059 00	TCW216	No	H1L
682341 00	TCW216	No	H1L
296180 00	TCW216	No	H1L

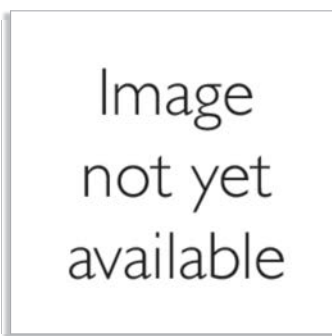
Código de pedido	Código de gama de producto	Accesorios mecánicos	Configuración de carcasa 2
301792 00	TCW216	No	H1L
591569 00	TCW216	AD	H1L
591576 00	TCW216	AD	H1L
291840 00	TCW216	No	H2L
103471 00	TCW216	No	H2L
291888 00	TCW216	No	H2L
292847 00	TCW216	No	H2L
292861 00	TCW216	No	H2L
293288 00	TCW216	No	H2L
293301 00	TCW216	No	H2L
293325 00	TCW216	No	H2L
293066 00	TCW216	No	H2L
304397 00	TCW216	No	H2L
682426 00	TCW216	No	H2L
692289 00	TCW216	No	H2L
295763 00	TCW216	No	H2L
591583 00	TCW216	AD	H2L
591590 00	TCW216	AD	H2L

Accesorios



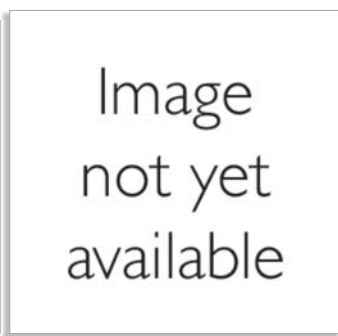
ZTX400 MB-WAPR (2PCS)

Soporte para montaje adosado al carril
TTX400/410 de luminarias estancas



GCW216 1 18

GCW216 1-lamps reflector



GCW216 2 18

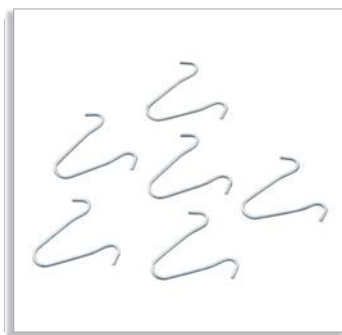
GCW216 2-lamps reflector



ZCW216 LOC-VP (6PCS)

Clips antivandálicos (6 uds.), para Pacific
TCW216

Accesorios

**ZCW216 HS (20PCS)**

Bolsa de 20 ganchos de suspensión

**ZCW216 CFC-S (10PCS)**

Clip inoxidable de fijación a techo para luminarias de 1 lámpara (ZCW216 CFC-S)

**ZCW216 CFC-T (10PCS)**

Clip inoxidable de fijación a techo para luminarias de 2 lámparas (ZCW216 CFC-T)

**ZCW216 36W TW3-HF 16A CLI**

Conjunto de cableado pasante

Accesorios

Código de pedido	Código de gama de producto	Descripción
293660 99	GCW216 1 18	GCW216 - 1 pc - 18 W
293707 99	GCW216 1 36	1 pc - 36 W
293745 99	GCW216 1 58	1 pc - 58 W
293684 99	GCW216 2 18	2 pcs - 18 W
293721 99	GCW216 2 36	2 pcs - 36 W
293769 99	GCW216 2 58	2 pcs - 58 W
293950 99	ZCW216 LOC-VP (6PCS)	ZCW216 - Fijación a prueba de vandalos - 6 piezas
294179 99	ZCW216 36W TW3-HF 16A CLI	ZCW216 - 36 W - Cableado de alimentación para HF 3 fases - Seguridad clase I
294216 99	ZCW216 58W TW3-HF 16A CLI	ZCW216 - 58 W - Cableado de alimentación para HF 3 fases - Seguridad clase I

Código de pedido	Código de gama de producto	Descripción
293974 99	ZCW216 HS (20PCS)	ZCW216 - Gancho de suspensión - 20 piezas
294094 99	ZCW216 CFC-T (10PCS)	ZCW216 - Clip del techo inox 2 lámparas - 10 piezas
294070 99	ZCW216 CFC-S (10PCS)	ZCW216 - Clip del techo inox 1 lámpara - 10 piezas
094434 99	ZTX400 MB-WAPR (2PCS)	ZTX400 - Mounting bracket for water-protected luminaire - 2 piezas



© 2012 Koninklijke Philips Electronics N.V.
Todos los derechos reservados.

Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso. Las marcas registradas son propiedad de Koninklijke Philips Electronics N.V. o de sus respectivos propietarios.

www.philips.com/lighting

2012, Abril 26
Datos sujetos a cambios

AT 1601

KIT DE EMERGENCIA

equipo autónomo



Descripción

Estos Balastos Autónomos están diseñados para convertir a cualquier luminaria con tubo fluorescente en una luz de emergencia. Pueden interconectarse tanto con balastos magnéticos (reactancia + arrancador) como con balastos electrónicos. Son de tipo Permanente / No-Permanente y están diseñados para encender automáticamente ante cualquier corte de energía eléctrica. Una vez instalados, estos Balastos Autónomos se encargarán, por medio de su cargador interno autorregulado, de mantener la batería totalmente cargada y de protegerla de sobrecargas. Adicionalmente, cuentan con protección de corte por fin de autonomía, que protege a las baterías de una sobredescarga.

Instalación

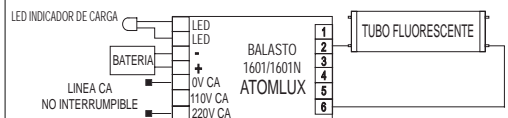
Antes de proceder a la instalación del , elija el diagrama de conexión correspondiente al balasto auxiliar que posee su luminaria. Ver sección Diagramas de Conexiones que viene con el producto. Junto con el Balasto de Emergencia Autónomo se provee la Batería, cables de conexión de la misma y un LED con cable.

Especificaciones

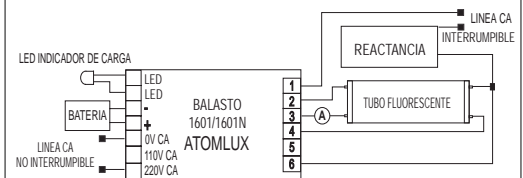
Tensión y frecuencia de alimentación	220 V/110V ~ 50Hz / 60Hz	
Intensidad de corriente de alimentación (cargando baterías)	30mA	25mA
Factor de potencia	0,9	
Factor de flujo	25% con tubo fluorescente de 36W	
Apto para Tubos o Lámparas Compactas de 4 pins Fluorescentes	Potencia: 5W a 65W	
Tensión de diseño	6VCC	
Batería Sellada	Plomo-Acido 6V 4AH	Níquel-Cadmio 6V 1800mAh
Intensidad de corriente de Batería (en descarga)	1,8A	
Frecuencia de salida Nominal con/sin lámpara	18KHz / 38KHz	
Tiempo de autonomía con tubo fluorescente de 36W	90 minutos	60 minutos
Dimensiones del equipo	Largo: 213mm; Ancho: 44mm; Alto: 43mm	
Dimensiones de la batería	Alto	107mm
	Ancho	70mm
	Profundidad	47mm
Peso neto del equipo con batería	1Kg	0.5Kg
Temperatura ambiente de operación ta	5°C a 40°C	
Uso	Solo para iluminación de emergencia	

Diagrama de Conexiones

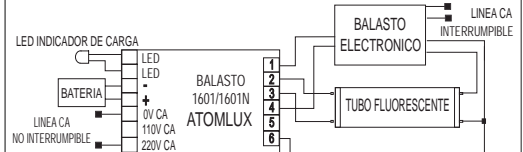
1- SISTEMA DE EMERGENCIA NO PERMANENTE



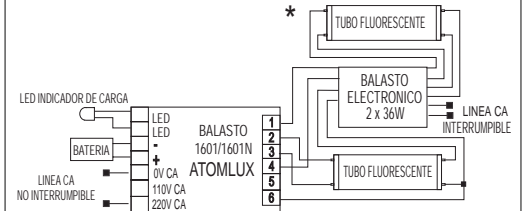
2- SISTEMA DE EMERGENCIA NO PERMANENTE CON REACTANCIA Y ARRANCADOR



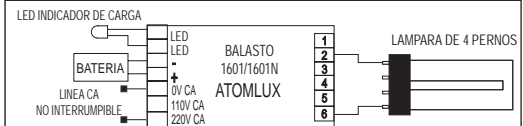
3- SISTEMA DE EMERGENCIA PERMANENTE CON BALASTO ELECTRONICO



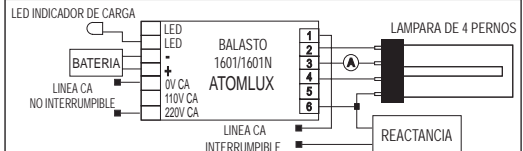
4- SISTEMA DE EMERGENCIA PERMANENTE CON BALASTO ELECTRONICO DE 2 TUBOS



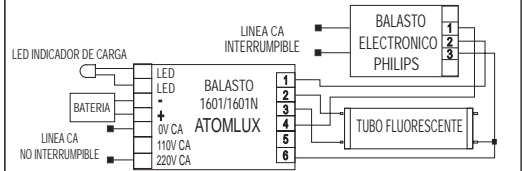
5- SISTEMA DE EMERGENCIA NO PERMANENTE CON LAMPARA 4 PERNOS



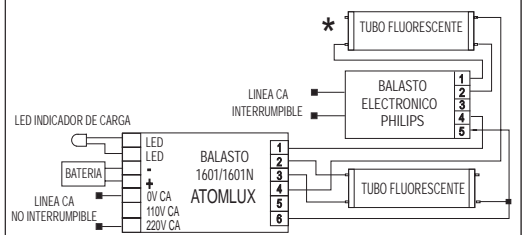
6- SISTEMA DE EMERGENCIA PERMANENTE CON REACTANCIA Y ARRANCADOR LAMPARA 4 PERNOS

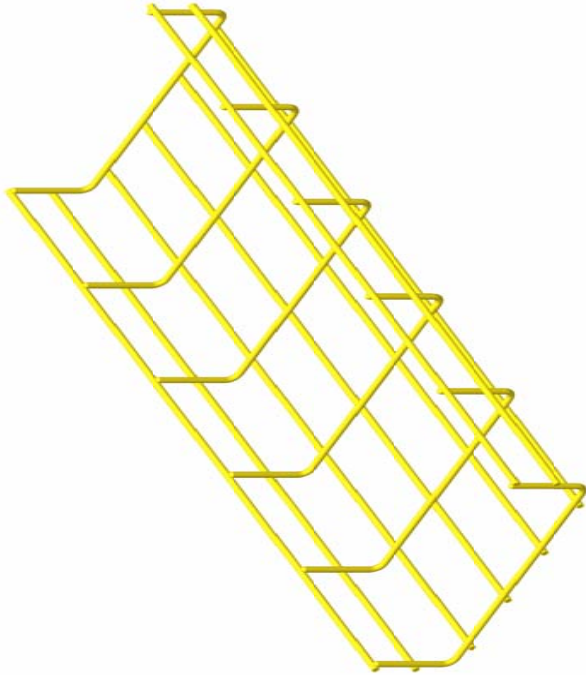


7- SISTEMA DE EMERGENCIA PERMANENTE CON BALASTO ELECTRONICO TIPO PHILIPS



8- SISTEMA DE EMERGENCIA PERMANENTE CON BALASTO ELECTRONICO TIPO PHILIPS DE 2 TUBOS





DESCRIPCIÓN

Bandeja de varillas de acero electrosoldadas con borde de seguridad que evita daños a las personas y a los cables.

VENTAJAS

Fácil manipulación por su sistema “cortar, doblar y unir”.

Es ligera ofreciendo la máxima ventilación y limpieza.

Proporciona gran resistencia y elasticidad y permite la construcción de accesorios en obra.

Resistencia al Fuego [E90](#) (90 minutos a 1.000 grados)

Acabado [BYCRO RoHS](#) libre de Cromo Hexalente.

[Marcado N de AENOR](#), de acuerdo con EN 61537.

ACABADOS

Electrozincado: (E.Z.) (UNE-EN 12329) para instalaciones interiores en atmósfera seca sin contaminantes.

BYCRO. Electrozincado bicromatado: (UNE-EN 12329). Color Dorado. Recomendado para instalaciones interiores Atmósferas secas sin contaminantes. Mayor poder anticorrosión.

Galvanizado en Caliente: (G.C.) (UNE-EN ISO 1461) Instalaciones exteriores, industriales, marinas, rurales o Interiores agresivas.

Acero inoxidable Pasivado AISI 304 y 316: indicado para instalaciones en ambientes agresivos y agua marina, aplicaciones industriales, alimentarias, etc

APLICACIONES

Conducción de cables en instalaciones eléctricas de edificios públicos, infraestructuras y obras civiles, instalaciones industriales, sector terciario.

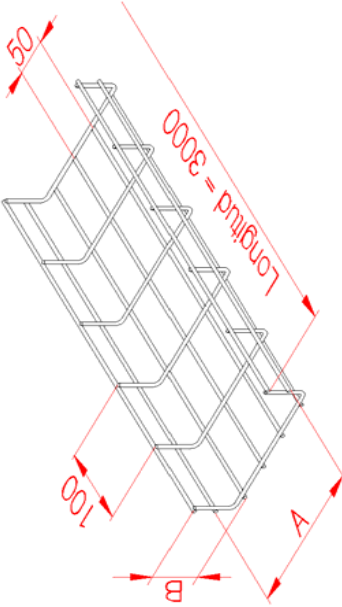
PRODUCTOS RELACIONADOS

Accesorios:

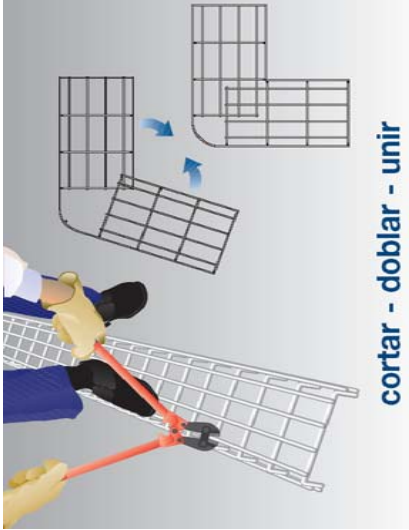
[Unión reforzada– Unión Click](#) - [Fijación](#) – [Multiunión](#) – [Borna de tierra](#) – [Soporte Caías](#) – [Soporte bridas](#) – [Salida tubos](#) – [Pie](#)

Soportes:

[Soporte 60](#) - [Soporte omega / omega click](#) – [Soporte techo omega/techo omega click](#) - [Soporte reforzado / reforzado click](#) [Soporte muy reforzado](#) – [Péndulo omega](#) – [Péndulo reforzado](#) [Suspensión / Suspensión click](#) – [Fijación techo](#) - [Distanciador](#)



ala (B)	35	60	100
ancho (A)		60	
	100	100	
		150	
	200	200	200
	300	300	300
	400	400	400
		500	500
		600	600



cortar - doblar - unir

DOCUMENTACIÓN RELACIONADA

[Certificado de producto](#)
[Tabla de cargas rejiband](#)

Protección magnetotérmica y diferencial

Acti 9

Gama residencial



iLD residencial

Interruptor diferencial

sensibilidad 30 mA

Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 61008-1

- Clase AC y protegido contra disparos intempestivos hasta 250 A, según onda 8/20 ms.
- Disparo instantáneo.
- Indicador mecánico rojo de defecto diferencial.
- Tensión de empleo 230 V CA.
- Conexión mediante bornes de caja para cables de cobre:
- Flexible: hasta 35 mm².
- Rígido: hasta 50 mm².
- Ancho por polo: 2 pasos de 9 mm.
- No admite auxiliares.



iK60N

Interruptor automático

magnetotérmico

Poder de corte: 6000 A

Curva C

Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 60898

- Tensión de empleo 230/400 V CA.
- Doble aislamiento Clase 2
- Conexión mediante bornes de caja para cables de cobre:
- Flexible: hasta 16 mm².
- Rígido: hasta 25 mm².
- Ancho por polo: 2 pasos de 9 mm.
- No admite auxiliares.

Interruptores diferenciales iLD residencial

N.º de polos	Calibre (A)	Unidad embalaje	Unid. lote	Referencia	Clave	P.V.R.
2P	25	6	144	*A9R60225	A	66,21
2P	40	6	144	*A9R60240	A	67,26

(*) Venta por múltiplos de la unidad de embalaje.

Interruptores automáticos magnetotérmicos iK60N

N.º de polos	Calibre (A)	Unidad embalaje	Referencia	Clave	P.V.R.
1P	6	12	*A9K17106	A	25,47
	10	12	*A9K17110	A	11,65
	16	12	*A9K17116	A	11,86
	20	12	*A9K17120	A	12,31
	25	12	*A9K17125	A	12,54
	32	12	A9K17132	A	26,64
	40	12	A9K24140	A	33,47
1P+N	6	6	*A9K17606	A	48,67
	10	6	*A9K17610	A	20,11
	16	6	*A9K17616	A	20,47
	20	6	*A9K17620	A	20,97
	25	6	*A9K17625	A	21,47
	32	6	*A9K17632	A	47,57
	40	6	*A9K24640	A	63,96
2P	6	6	*A9K17206	A	55,07
	10	6	*A9K17210	A	26,64
	16	6	*A9K17216	A	27,08
	20	6	*A9K17220	A	27,95
	25	6	*A9K17225	A	28,32
	32	6	*A9K17232	A	54,17
	40	6	*A9K24240	A	70,45
3P	6	4	*A9K17306	NB	83,96
	10	4	*A9K17310	NB	78,51
	16	4	*A9K17316	NB	80,10
	20	4	*A9K17320	NB	82,37
	25	4	*A9K17325	NB	83,96
	32	4	*A9K17332	NB	88,97
	40	4	*A9K24340	NB	106,89
4P	6	3	*A9K17406	NB	114,87
	10	3	*A9K17410	NB	111,06
	16	3	*A9K17416	NB	112,34
	20	3	*A9K17420	NB	115,52
	25	3	*A9K17425	NB	119,79
	32	3	*A9K17432	NB	124,93
	40	3	*A9K24440	NB	148,24

(*) Venta por múltiplos de la unidad de embalaje.

Protección eléctrica monofásica para equipos profesionales (continuación)

Lista de precios

Symmetra RM



Symmetra RM

SAI Symmetra-UPS (escalable, redundante y montaje rack) - Tecnología On-Line

	Referencia	Modelo	Potencia		H x W x D (mm)	Peso (kg)	P.V.R.* €
			VA	W			
2.000	SYH2K6RMI	Symmetra RM 2 kVA escalable a 6 kVA N+1 220-240 V	2.000	1.400	356 x 483 x 730	75,0	5.563,00
4.000	SYH4K6RMI	Symmetra RM 4 kVA escalable a 6 kVA N+1 220-240 V	4.000	2.800	356 x 483 x 730	105,0	9.138,00
6.000	SYH6K6RMI	Symmetra RM 6 kVA escalable a 6 kVA N+1 220-240 V	6.000	4.200	356 x 483 x 730	133,0	12.713,00
Opciones	SYPM2KU	Módulo de potencia 2 kVA para Symmetra RM			83 x 216 x 546	8,0	2.625,00
	SBP6KRM12U	Bypass de mantenimiento para Symmetra RM					743,00
	WSTRTUP-SY-00	Arranque 5 x 8 Symmetra RM de 2.000 VA y 6.000 VA					1.668,00
	WUPGSTRUP7X24-UG-01	Upgrade de Arranque a 7 x 24 Symmetra RM de 2.000 VA y 6.000 VA					563,00
	WASSEMUPS-3R-SY-00	Montaje y Ensamblaje 5 x 8 Symmetra RM de 2.000 VA y 6.000 VA					2.763,00
	WUPGASSEM7X24-UG-01	Upgrade de Montaje y Ensamblaje a 7 x 24 Symmetra RM de 2.000 VA y 6.000 VA					315,00
	WSAPMV-UG-01	Visita preventiva de mantenimiento 5 x 8 Smart-UPS RT 5 kVA/20 kVA					1.970,00
	WUPGPMV7X24-UG-01	Upgrade de Visita preventiva a 7 x 24 Smart-UPS RT 5 kVA/20 kVA					865,00

Symmetra LX



Symmetra LX

SAI Symmetra-UPS (escalable, redundante y montaje torre o rack) - Tecnología On-Line

	Referencia	Modelo	Potencia		H x W x D (mm)	Peso (kg)	P.V.R.* €
			VA	W			
4.000	SYA4K8I	Symmetra LX 4 kVA escalable a 8 kVA N+1 torre 1:1 / 3:1	4.000	2.800	660 x 483 x 726	157,0	10.763,00
	SYA4K8RMI	Symmetra LX 4 kVA escalable a 8 kVA N+1 rack 1:1 / 3:1	4.000	2.800	572 x 472 x 688	134,0	11.950,00
8.000	SYA8K8I	Symmetra LX 8 kVA escalable a 8 kVA N+1 torre 1:1 / 3:1	8.000	5.600	660 x 483 x 726	201,0	14.513,00
	SYA8K8RMI	Symmetra LX 8 kVA escalable a 8 kVA N+1 rack 1:1 / 3:1	8.000	5.600	572 x 472 x 688	178,0	15.713,00
	SYA8K16I	Symmetra LX 8 kVA escalable a 16 kVA N+1 torre 1:1 / 3:1	8.000	5.600	937 x 483 x 726	219,0	14.513,00
	SYA8K16RMI	Symmetra LX 8 kVA escalable a 16 kVA N+1 rack 1:1 / 3:1	8.000	5.600	838 x 472 x 688	198,0	15.713,00
	SYA8K16IXR ⁽¹⁾	Symmetra LX 8 kVA escalable a 16 kVA N+1 exterior torre 1:1 / 3:1	8.000	5.600	1.516 x 483 x 726	473,0	25.950,00
12.000	SYA12K16I	Symmetra LX 12 kVA escalable a 16 kVA N+1 torre 1:1 / 3:1	12.000	8.400	937 x 483 x 726	263,0	18.275,00
	SYA12K16RMI	Symmetra LX 12 kVA escalable a 16 kVA N+1 rack 1:1 / 3:1	12.000	8.400	838 x 472 x 688	242,0	19.113,00
	SYA12K16IXR ⁽¹⁾	Symmetra LX 12 kVA escalable a 16 kVA N+1 exterior torre 1:1 / 3:1	12.000	8.400	1.516 x 483 x 726	488,0	28.800,00
16.000	SYA16K16I	Symmetra LX 16 kVA escalable a 16 kVA N+1 torre 1:1 / 3:1	16.000	11.200	937 x 483 x 726	307,0	22.038,00
	SYA16K16RMI	Symmetra LX 16 kVA escalable a 16 kVA N+1 rack 1:1 / 3:1	16.000	11.200	838 x 472 x 688	286,0	22.763,00
	SYA16K16IXR ⁽¹⁾	Symmetra LX 16 kVA escalable a 16 kVA N+1 exterior torre 1:1 / 3:1	16.000	11.200	1.516 x 483 x 726	503,0	31.638,00
Opciones	SYPM4KI	Módulo de potencia 4 kVA para Symmetra LX			150 x 250 x 565	15,0	2.850,00
	SBP16KRM14U	Bypass de mantenimiento para Symmetra LX					1.480,00
	WSTRTUP-SY-00	Arranque 5 x 8 Symmetra RM de 2.000 VA y 6.000 VA					1.668,00
	WUPGSTRUP7X24-UG-01	Upgrade de Arranque a 7 x 24 Symmetra RM de 2.000 VA y 6.000 VA					563,00
	WASSEMUPS-3R-SY-00	Montaje y Ensamblaje 5 x 8 Symmetra RM de 2.000 VA y 6.000 VA					2.763,00
	WUPGASSEM7X24-UG-01	Upgrade de Montaje y Ensamblaje a 7 x 24 Symmetra RM de 2.000 VA y 6.000 VA					315,00
	WSAPMV-UG-01	Visita preventiva de mantenimiento 5 x 8 Smart-UPS RT 5 kVA/20 kVA					1.970,00
	WUPGPMV7X24-UG-01	Upgrade de Visita preventiva a 7 x 24 Smart-UPS RT 5 kVA/20 kVA					865,00

(1) No incluye costes de ubicación especial.

* IVA no incluido.

Protección magnetotérmica Acti 9

Gama industrial




iC60H
Interruptor automático
magnetotérmico
Poder de corte:
10000 A (UNE-EN 60898)
15 kA (UNE-EN 60947-2)
Curvas C, B y D



Producto certificado AENOR conforme a la norma
UNE-EN 60898

- Permite el acoplamiento de auxiliares.
- Tensión de empleo 230/400 V CA.
- **VisiSafe:**
- Corte plenamente aparente: banda verde en la maneta.

- Tensión aislamiento (Ui) 500 V CA.
- Grado polución 3.
- Tensión impulsional (Uimp) 6 kV.
- **VisiTrip:** señalización local de defecto.
- Doble aislamiento clase 2.
- Apto al seccionamiento .
- Conexión mediante bornes de caja para cables de cobre:
- Calibres ≤ 25 A:
 - Flexible: hasta 16 mm².
 - Rígido: hasta 25 mm².
- Calibres 32 a 63 A:
 - Flexible: hasta 25 mm².
 - Rígido: hasta 35 mm².
- Ancho por polo: 2 pasos de 9 mm.

N.º de polos	Calibre (A)	Unidad embalaje	iC60H - Curva C ⁽¹⁾			iC60H - Curva B			iC60H - Curva D		
			Referencia	Clave	P.V.R.	Referencia	Clave	P.V.R.	Referencia	Clave	P.V.R.
1P	0,5	12	A9F84170	C	45,34	-	-	-	-	-	-
	1	12	A9F84101	B	41,82	-	-	-	A9F85101	C	51,09
	2	12	A9F84102	B	41,82	-	-	-	A9F85102	C	51,09
	3	12	A9F84103	C	41,82	-	-	-	A9F85103	C	51,09
	4	12	A9F84104	B	39,52	-	-	-	A9F85104	C	51,09
	6	12	A9F89106	B	35,63	A9F88106	C	41,87	A9F85106	C	44,47
	10	12	A9F89110	B	32,97	A9F88110	C	37,88	A9F85110	C	40,04
	16	12	A9F89116	C	32,97	A9F88116	C	38,59	A9F85116	C	40,82
	20	12	A9F89120	C	34,57	A9F88120	C	39,62	A9F85120	C	41,87
	25	12	A9F89125	C	35,28	A9F88125	C	40,54	A9F85125	C	42,72
	32	12	A9F89132	C	37,02	A9F88132	C	42,92	A9F85132	C	45,28
	40	12	A9F89140	C	43,34	A9F88140	C	49,58	A9F85140	C	52,61
	50	12	A9F89150	C	56,74	A9F88150	C	65,18	A9F85150	C	77,26
	63	12	A9F89163	C	60,51	A9F88163	C	69,11	A9F85163	C	100,41
2P	0,5	6	A9F84270	C	106,84	-	-	-	-	-	-
	1	6	A9F84201	B	102,05	-	-	-	A9F85201	C	129,04
	2	6	A9F84202	B	102,60	-	-	-	A9F85202	B	129,04
	3	6	A9F84203	B	102,60	-	-	-	A9F85203	B	129,04
	4	6	A9F84204	B	97,07	-	-	-	A9F85204	B	129,04
	6	6	A9F89206	B	72,83	A9F88206	C	83,41	A9F85206	B	88,23
	10	6	A9F89210	A	66,63	A9F88210	B	76,33	A9F85210	B	80,69
	16	6	A9F89216	A	67,96	A9F88216	C	77,72	A9F85216	B	82,18
	20	6	A9F89220	B	69,98	A9F88220	C	80,07	A9F85220	B	84,64
	25	6	A9F89225	B	71,21	A9F88225	C	81,62	A9F85225	B	86,35
	32	6	A9F89232	B	75,52	A9F88232	C	86,48	A9F85232	B	91,46
	40	6	A9F89240	B	86,70	A9F88240	C	99,05	A9F85240	B	104,82
	50	6	A9F89250	B	114,98	A9F88250	C	132,15	A9F85250	C	153,52
	63	6	A9F89263	B	122,50	A9F88263	C	140,05	A9F85263	C	202,32
3P	0,5	4	A9F84370	C	163,58	-	-	-	-	-	-
	1	4	A9F84301	C	156,68	-	-	-	A9F85301	C	196,76
	2	4	A9F84302	C	156,68	-	-	-	A9F85302	C	196,76
	3	4	A9F84303	C	156,68	-	-	-	A9F85303	C	196,76
	4	4	A9F84304	C	148,77	-	-	-	A9F85304	C	196,76
	6	4	A9F89306	B	109,63	A9F88306	C	124,69	A9F85306	C	132,66
	10	4	A9F89310	B	99,78	A9F88310	C	113,99	A9F85310	B	120,48
	16	4	A9F89316	B	101,68	A9F88316	C	116,19	A9F85316	B	122,78
	20	4	A9F89320	B	104,64	A9F88320	C	119,62	A9F85320	B	126,43
	25	4	A9F89325	B	106,66	A9F88325	C	122,00	A9F85325	B	128,82
	32	4	A9F89332	B	113,07	A9F88332	C	129,16	A9F85332	B	136,56
	40	4	A9F89340	B	130,39	A9F88340	C	149,14	A9F85340	B	157,47
	50	4	A9F89350	B	183,53	A9F88350	C	214,23	A9F85350	C	235,29
	63	4	A9F89363	B	198,76	A9F88363	C	227,18	A9F85363	B	295,82
4P	0,5	3	A9F84470	C	222,60	-	-	-	-	-	-
	1	3	A9F84401	C	213,06	-	-	-	A9F85401	C	272,40
	2	3	A9F84402	C	213,06	-	-	-	A9F85402	C	272,40
	3	3	A9F84403	C	213,06	-	-	-	A9F85403	C	272,40
	4	3	A9F84404	C	202,48	-	-	-	A9F85404	C	272,40
	6	3	A9F89406	B	147,01	A9F88406	C	168,36	A9F85406	C	177,88
	10	3	A9F89410	A	137,49	A9F88410	C	157,14	A9F85410	C	166,07
	16	3	A9F89416	A	140,26	A9F88416	C	160,35	A9F85416	B	169,35
	20	3	A9F89420	A	144,30	A9F88420	C	164,91	A9F85420	B	174,37
	25	3	A9F89425	A	147,01	A9F88425	C	168,19	A9F85425	B	177,57
	32	3	A9F89432	A	155,92	A9F88432	C	178,27	A9F85432	B	188,23
	40	3	A9F89440	A	175,28	A9F88440	C	200,32	A9F85440	B	211,89
	50	3	A9F89450	A	250,91	A9F88450	C	295,46	A9F85450	B	305,38
	63	3	A9F89463	A	272,68	A9F88463	C	313,15	A9F85463	B	401,17

(1) Productos certificados AENOR conforme a la norma UNE-EN 60898.

Protección diferencial Acti 9

Gama terciario



Interruptores diferenciales iID clase AC y clase A estándar

Características generales

Producto certificado AENOR

conforme a la norma UNE-EN 61008

- Inmunidad contra disparos intempestivos: 250 A cresta para los instantáneos y 3 kA cresta para los selectivos, según onda 8/20 μ s.
- **VisiTrip**: señalización local de defecto.
- Resistencia a los cortocircuitos:
 - $I_{nc} = I_{dc} = 10$ kA.
 - $I_m = I_{\Delta m} = 630$ A ($I_n \leq 63$ A).
 - $I_m = I_{\Delta m} = 10 \cdot I_n$ ($I_n > 63$ A).
- Conexión mediante bornes de caja para cables de cobre:
 - Flexible: hasta 35 mm².
 - Rígido: hasta 50 mm².
- Ancho por polo: 2 pasos de 9 mm.
- Tensión de empleo:
 - iID 2p: 230 V CA.
 - iID 4p: 400 V CA (entre fases).

VisiSafe

VisiTrip

• VisiSafe:






- Corte plenamente aparente: banda verde en la maneta.
- Tensión aislamiento (Ui) 500 V CA.
- Grado polución 3.
- Tensión impulsional (Uimp) 6 kV.
- Doble aislamiento clase 2.
- Admiten idénticos auxiliares y accesorios que la gama iC60.

Clase AC. Detecta corrientes de fuga alternas.

Clase A. Detecta corrientes de fuga alternas y alternas con componente continua.

Clase B. Detecta corrientes de fuga alternas y continuas. Adecuado para la protección diferencial de variadores de velocidad trifásicos, onduladores y cargadores de baterías trifásicos. Para calibres superiores a 80 A consultar con delegación.

Selectivos. Incorporan un retardo al disparo.

N.º de polos	Sensibilidad (mA)	Calibre (A)	Unidad embalaje	iID - Clase AC 			iID - Clase A 			iID - Clase B  					
				Referencia	Clave	P.V.R.	Referencia	Clave	P.V.R.	Referencia	Clave	P.V.R.			
Instantáneos															
2P	10	25	6	*A9R10225	B ⁽¹⁾	450,59	-	-	-	-	-	-	-		
		30	25	6	*A9R81225	A ⁽¹⁾	166,40	A9R21225	B	241,95	-	-	-	-	
			40	6	*A9R81240	A ⁽¹⁾	171,41	A9R21240	B ⁽¹⁾	248,89	-	-	-	-	
			63	6	*A9R81263	A ⁽¹⁾	424,36	A9R21263	C ⁽¹⁾	459,92	-	-	-	-	
	300	80	6	A9R11280	C ⁽¹⁾	481,13	-	-	-	-	-	-	-		
		25	6	*A9R84225	A ⁽¹⁾	166,81	A9R24225	B	237,89	-	-	-	-	-	
			40	6	*A9R84240	A ⁽¹⁾	166,91	A9R24240	C ⁽¹⁾	245,24	-	-	-	-	-
			63	6	*A9R84263	B ⁽¹⁾	296,23	A9R24263	C ⁽¹⁾	403,78	-	-	-	-	-
	500		80	6	A9R14280	C ⁽¹⁾	471,70	-	-	-	-	-	-	-	-
		100	6	A9R14291	C ⁽¹⁾	485,35	-	-	-	-	-	-	-	-	
		25	6	A9R16225	C	172,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			40	6	A9R16240	B	173,40	-	-	-	-	-	-	-	-
63	6		A9R16263	C	308,67	-	-	-	-	-	-	-	-		
4P	30	25	3	*A9R81425	A ⁽¹⁾	300,80	-	-	-	16750	C	1.733,50	-		
		40	3	*A9R81440	A ⁽¹⁾	312,70	A9R21440	B ⁽¹⁾	424,65	16752	C	1.802,84	-		
		63	3	*A9R81463	A ⁽¹⁾	678,42	A9R21463	C ⁽¹⁾	761,77	16756	C	2.411,83	-		
	300	25	3	*A9R84425	A ⁽¹⁾	256,53	-	-	-	16751	C	1.560,16	-		
		40	3	*A9R84440	A ⁽¹⁾	264,44	*A9R24440	B ⁽¹⁾	361,00	16753	C	1.622,56	-		
		63	3	*A9R84463	A ⁽¹⁾	348,67	*A9R24463	B ⁽¹⁾	487,75	16757	C	2.170,64	-		
		80	3	*A9R14480	A ⁽¹⁾	565,62	-	-	-	16761	C	3.038,90	-		
		100	3	*A9R14491	A	583,12	-	-	-	-	-	-	-	-	
	500	25	3	A9R16425	B	260,60	-	-	-	-	-	-	-	-	
		40	3	A9R16440	B	270,53	-	-	-	16755	C	1.687,47	-		
		63	3	A9R16463	B	351,69	-	-	-	16759	C	2.257,47	-		
		80	3	A9R16480	C	570,58	-	-	-	-	-	-	-	-	
Selectivos 															
2P	300	63	6	A9R15263	B ⁽¹⁾	433,59	-	-	-	-	-	-	-		
		80	6	A9R15280	C ⁽¹⁾	676,22	-	-	-	-	-	-	-		
		100	6	A9R15291	C	695,74	-	-	-	-	-	-	-		
4P	300	40	3	*A9R15440	B ⁽¹⁾	461,56	-	-	-	16754	C	2.109,32	-		
		63	3	A9R15463	B ⁽¹⁾	525,79	-	-	-	16758	C	2.821,84	-		
		80	3	A9R15480	C ⁽¹⁾	832,28	-	-	-	16762	C	3.950,58	-		
		100	3	A9R15491	B	853,08	-	-	-	-	-	-	-		
	500	40	3	A9R17440	B ⁽¹⁾	470,18	-	-	-	-	-	-	-		
		63	3	A9R17463	C ⁽¹⁾	537,70	-	-	-	-	-	-	-		
		80	3	A9R17480	C ⁽¹⁾	847,24	-	-	-	-	-	-	-		

(1) Productos certificados por AENOR conforme a la norma UNE-EN 61008.

(*) Venta por múltiplos de la unidad de embalaje.

Protección magnetotérmica Acti 9

Gama terciario



iC60N
Interruptor automático magnetotérmico
Poder de corte:
6000 A (UNE-EN 60898)
10 kA (UNE-EN 60947-2)
Curvas C, B y D



Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 60898

- Permite el acoplamiento de auxiliares eléctricos y accesorios (ver págs. 42 y 43).
- Tensión de empleo 230/400 V CA.
- **VisiSafe:**
- Corte plenamente aparente: banda verde en la maneta.

- Tensión aislamiento (Ui) 500 V CA.
- Grado polución 3.
- Tensión impulsional (Uimp) 6 kV.
- **VisiTrip:** señalización local de defecto.
- Doble aislamiento clase 2.
- Apto al seccionamiento
- Conexión mediante bornes de caja para cables de cobre:
- Calibres ≤ 25 A:
 - Flexible: hasta 16 mm².
 - Rígido: hasta 25 mm².
- Calibres 32 a 63 A:
 - Flexible: hasta 25 mm².
 - Rígido: hasta 35 mm².
- Ancho por polo: 2 pasos de 9 mm.
- Para interruptores magnetotérmicos con certificación UL consultar con delegación.

Interruptores automáticos magnetotérmicos iC60N

N.º de polos	Calibre (A)	Unidad embalaje	iC60N - Curva C ^(*)			iC60N - Curva B			iC60N - Curva D		
			Referencia	Clave	P.V.R.	Referencia	Clave	P.V.R.	Referencia	Clave	P.V.R.
1P	0,5	12	A9F74170	A	62,61	-	-	-	A9F75170	C	93,29
	1	12	A9F74101	A	50,53	A9F73101	C	57,50	A9F75101	C	75,80
	2	12	A9F74102	A	50,53	A9F73102	C	57,50	A9F75102	B	75,80
	3	12	A9F74103	A	50,53	A9F73103	C	57,50	A9F75103	C	75,80
	4	12	A9F74104	A	50,53	A9F73104	C	57,50	A9F75104	C	75,80
	6	12	A9F79106	A	29,34	A9F78106	B	33,55	A9F75106	B	67,84
	10	12	A9F79110	A	26,39	A9F78110	C	31,69	A9F75110	C	59,81
	16	12	A9F79116	A	26,87	A9F78116	C	32,23	A9F75116	C	61,05
	20	12	A9F79120	A	28,20	A9F78120	C	33,26	A9F75120	C	62,83
	25	12	A9F79125	A	28,84	A9F78125	C	33,91	A9F75125	C	64,02
	32	12	A9F79132	A	30,13	A9F78132	C	36,00	A9F75132	C	67,84
	40	12	A9F79140	A	37,60	A9F78140	C	45,19	A9F75140	C	74,94
	50	12	A9F79150	B	77,16	A9F78150	C	87,88	A9F75150	C	109,93
	63	12	A9F79163	B	84,49	A9F78163	C	96,01	A9F75163	C	125,74
1P+N	1	6	A9F74601	A	77,88	A9F73601	C	92,92	-	-	-
	2	6	A9F74602	A	77,88	A9F73602	C	92,92	-	-	-
	3	6	A9F74603	A	77,88	A9F73603	C	92,92	-	-	-
	4	6	A9F74604	A	77,88	A9F73604	C	92,92	-	-	-
	6	6	A9F79606	A	56,18	A9F78606	C	64,52	-	-	-
	10	6	A9F79610	A	51,60	A9F78610	B	60,60	-	-	-
	16	6	A9F79616	A	52,48	A9F78616	B	61,80	-	-	-
	20	6	A9F79620	A	54,12	A9F78620	C	63,54	-	-	-
	25	6	A9F79625	A	55,13	A9F78625	C	64,74	-	-	-
	32	6	A9F79632	A	58,40	A9F78632	C	68,62	-	-	-
	40	6	A9F79640	A	75,69	A9F78640	C	90,43	-	-	-
	50	6	A9F79650	B	153,77	A9F78650	C	174,93	-	-	-
	63	6	A9F79663	B	158,73	A9F78663	C	180,64	-	-	-
2P	0,5	6	A9F74270	A	137,61	-	-	-	A9F75270	C	245,34
	1	6	A9F74201	A	107,05	A9F73201	C	121,80	A9F75201	B	190,88
	2	6	*A9F74202	A	107,05	A9F73202	B	121,80	A9F75202	B	190,88
	3	6	*A9F74203	A	107,05	A9F73203	C	121,80	A9F75203	B	190,88
	4	6	*A9F74204	A	107,05	A9F73204	C	121,80	A9F75204	B	190,88
	6	6	*A9F79206	A	63,83	A9F78206	B	72,40	A9F75206	B	138,33
	10	6	*A9F79210	A	58,20	A9F78210	B	68,10	A9F75210	B	121,80
	16	6	*A9F79216	A	59,25	A9F78216	B	69,44	A9F75216	B	124,13
	20	6	*A9F79220	A	59,88	A9F78220	C	71,52	A9F75220	B	127,92
	25	6	*A9F79225	A	62,23	A9F78225	C	72,79	A9F75225	B	130,27
	32	6	*A9F79232	A	65,95	A9F78232	C	77,14	A9F75232	B	138,09
	40	6	*A9F79240	A	82,59	A9F78240	C	97,96	A9F75240	B	152,64
	50	6	*A9F79250	B	158,58	A9F78250	C	180,51	A9F75250	B	213,98
	63	6	*A9F79263	B	169,48	A9F78263	C	192,87	A9F75263	B	236,80

(1) Productos certificados por AENOR conforme a la norma UNE-EN 60898.

(*) Venta por múltiplos de la unidad de embalaje.

(continúa en pág. siguiente)

Interruptores automáticos Masterpact NT06 a NT16

Funciones y características



Características comunes

Número de polos		3/4
Tensión asignada de aislamiento (V)	Ui	1000/1250
Tensión de choque (kV)	Uimp	12
Tensión asignada de empleo (V CA 50/60 Hz)	Ue	690/1000 V
Aptitud al seccionamiento	UNE-EN 60947-2	
Grado de polución	UNE-EN 60664-1	3

Características de los interruptores automáticos según UNE-EN 60947-2

Intensidad asignada (A)	In	a 40 °C
Calibre del 4.º polo (A)		
Calibre de los captadores		

Tipo de interruptor automático

Poder de corte último (kA eff)	Icu	220/415 V 440 V 525 V 690 V
Poder de corte en servicio (kA eff)	Ics	% Icu
Intensidad asignada de corta duración admisible (kA eff)	Icw	1 s 3 s
Protección instantánea integrada (kA cresta ±10%)		
Poder de cierre (kA cresta)	Icm	220/415 V 440 V 525 V 690 V
V CA 50/60 Hz		

Tiempo de corte (ms)

Tiempo de cierre (ms)

Características de los interruptores automáticos según NEMA AB1

Poder de corte (kA)	240 V
V CA 50/60 Hz	480 V 600 V

Instalación, conexionado y mantenimiento

Endurance	Mecánica	Con mantenimiento	
Ciclos A/C × 1000		Sin mantenimiento	
	Eléctrica	Sin mantenimiento	440 V 690 V
	Control de motores (AC3-947-4)		690 V
Conexionado		Seccionable	PAV PAR
		Fijo	PAV PAR
Dimensiones (mm)		Seccionable	3P 4P
H × L × P		Fijo	3P 4P
Peso (kg)		Seccionable	3P/4P
(valores aproximados)		Fijo	3P/4P

Interruptores automáticos Masterpact NT06 a NT16

Funciones y características (continuación)

NT06			NT08	NT10	NT12	NT16
630			800	1000	1250	1600
630			800	1000	1250	1600
400 a			400 a	400 a	630 a	800 a
630			800	1000	1250	1600
H1	H2	L1				H1 H2
42	50	150				42 50
42	50	130				42 50
42	42	100				42 50
42	42	25				42 42
100%						100%
42	36	10				42 36
24	20	–				20 20
–	90	10 × In				– 90
88	105	330				88 105
88	105	286				88 105
88	88	220				88 88
88	88	52				88 88
25	25	9				25 25
< 50						< 50
42	50	150				42 50
42	50	100				42 50
42	42	25				42 42
25	25	25				25 25
12,5	12,5	12,5				12,5 12,5
6	6	3				6 6
3	3	2				3 3
3	3	2				3 3
•	•	•				• •
•	•	•				• •
•	•	•				• •
•	•	•				• •
322 × 288 × 280						
322 × 358 × 280						
301 × 274 × 211						
301 × 344 × 211						
30/39						
14/18						

Elección de los captadores

Calibre del captador (A)	400	630	800	1000	1250	1600
Regulación del umbral Ir (A)	160 a 400	250 a 630	320 a 800	400 a 1000	500 a 1250	640 a 1600

Interrupidores automáticos y en carga Masterpact NW08 a NW63

Funciones y características



Características de base

Número de polos		3/4
Tensión asignada de aislamiento (V)	Ui	1000/1250
Tensión de choque (kV)	Uimp	12
Tensión asignada de empleo (V CA 50/60 Hz)	Ue	690/1150 V
Aptitud al seccionamiento	UNE-EN 60947-2	
Grado de polución	UNE-EN 60664-1	4

Características de los interruptores automáticos según UNE-EN 60947-2

Intensidad asignada (A)	In	a 40 °C
Calibre del 4.º polo (A)		
Calibre de los captadores (A)		

Tipo de interruptor automático

Poder de corte último (kA eff)	Icu	220/415 V
V CA 50/60 Hz		440 V
		525 V
		690 V
		1150 V
Poder de corte en servicio (kA eff)	Ics	% Icu
Intensidad asignada de corta duración admisible (kA eff)	Icw	1 s
V CA 50/60 Hz		3 s
Límite electrodinámico (kA cresta)		
Protección instantánea integrada (kA cresta ±10%)		
Poder de cierre (kA cresta)	Icm	220/415 V
V CA 50/60 Hz		440 V
		525 V
		690 V
		1150 V

Tiempo de corte (ms)

Tiempo de cierre (ms)

Características de los interruptores automáticos según NEMA AB1

Poder de corte (kA)	240 V
V CA 50/60 Hz	480 V
	600 V

Características de los interruptores en carga según UNE-EN 60947-3

Tipo de interruptor

Poder de cierre (kA cresta)	Icm	220/415 V
V CA 50/60 Hz		440 V
		500/690 V
		1150 V
Intensidad asignada de corta duración admisible (kA eff)	Icw	1 s
V CA 50/60 Hz		3 s
Poder de corte Icu (kA eff) con relé de protección externa		
Temporización máxima: 350 ms		

Instalación, conexionado y mantenimiento

Endurancia	Mecánica	Con mantenimiento	
Ciclos A/C × 1000		Sin mantenimiento	
	Eléctrica	Sin mantenimiento	440 V
			690 V
			1150 V
	Control de motores (AC3-947-4)		690 V
Conexionado		Seccionable	PAV
			PAR
		Fijo	PAV
			PAR
Dimensiones (mm)		Seccionable	3P
H × L × P			4P
		Fijo	3P
			4P
Peso (kg)		Seccionable	3P
(valores aproximados)		Fijo	3P

Funciones y características (continuación)

Elección de los captadores												
Calibre del captador (A)	400	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300
Regulación del umbral Ir (A)	160 a 400	250 a 630	320 a 800	400 a 1000	500 a 1250	630 a 1600	800 a 2000	1000 a 2500	1250 a 3200	1600 a 4000	2000 a 5000	2500 a 6300

Masterpack NT06/16

Con unidad de control Micrologic 5.0 E

NT06/08/10/12/16 Guía de valoración

Clave C



Estos precios incluyen:

- Aparato base.
- Unidad de control Micrologic 5.0 E.⁽¹⁾
- Conexiones superior e inferior, con la posibilidad de elegir entre: toma anterior, toma posterior plana o toma posterior de canto.
- 4 contactos inversores OF y 1 contacto inversor SDE.
- Chasis, en el caso de aparato seccionable.
- Pantalla aislante en aparato seccionable.

⁽¹⁾ Se recomienda el uso de un módulo de alimentación externa AD para unidad de control Micrologic con opción de medida (pág. 120).

Masterpack NT fijo

Calibre	Poder de corte	3P	4P
		P.V.R.	P.V.R.
NT06 (In = 630 A)	H1 (42 kA)	6.103,04	7.753,77
	H2 (50 kA)	7.052,40	8.687,50
	L1 (150 kA)	9.142,70	12.270,41
NT08 (In = 800 A)	H1 (42 kA)	6.671,78	8.670,49
	H2 (50 kA)	7.592,26	9.598,41
	L1 (150 kA)	9.880,14	13.726,89
NT10 (In = 1000 A)	H1 (42 kA)	7.207,12	9.224,40
	H2 (50 kA)	7.791,31	9.851,40
	L1 (150 kA)	10.607,66	14.227,89
NT12 (In = 1250 A)	H1 (42 kA)	7.616,62	9.741,83
	H2 (50 kA)	8.223,83	10.400,63
NT16 (In = 1600 A)	H1 (42 kA)	8.759,44	11.276,68
	H2 (50 kA)	9.403,66	11.899,50

Masterpack NT seccionable

Calibre	Poder de corte	3P	4P
		P.V.R.	P.V.R.
NT06 (In = 630 A)	H1 (42 kA)	8.236,77	10.537,51
	H2 (50 kA)	9.304,04	11.677,71
	L1 (150 kA)	11.917,80	15.703,38
NT08 (In = 800 A)	H1 (42 kA)	8.805,57	11.657,41
	H2 (50 kA)	10.006,46	12.588,35
	L1 (150 kA)	12.502,41	17.158,22
NT10 (In = 1000 A)	H1 (42 kA)	9.340,91	12.006,97
	H2 (50 kA)	10.497,72	12.834,14
	L1 (150 kA)	13.229,91	17.660,88
NT12 (In = 1250 A)	H1 (42 kA)	9.750,31	12.524,39
	H2 (50 kA)	10.620,39	13.368,07
NT16 (In = 1600 A)	H1 (42 kA)	11.381,81	14.709,29
	H2 (50 kA)	12.346,95	15.589,31

Masterpack NW08/63

Con unidad de control Micrologic 5.0 E

NW08/10/12/16/20/25/32/40 NW50/63 Guía de valoración

Clave C



Estos precios incluyen:

- Aparato base.
- Unidad de control Micrologic 5.0 E.⁽¹⁾
- Conexiones superior e inferior, con la posibilidad de elegir entre: toma anterior, toma posterior plana o toma posterior de canto.
- 4 contactos inversores OF y 1 contacto inversor SDE.
- Chasis, en el caso de aparato seccionable.

⁽¹⁾ Se recomienda el uso de un módulo de alimentación externa AD para unidad de control Micrologic con opción de medida (pág. 127).

⁽²⁾ El NW40 no permite el montaje de tomas anteriores.

Masterpack NW fijo

Calibre	Poder de corte	3P	4P
		P.V.R.	P.V.R.
NW08 (In = 800)	N1 (42 kA)	7.850,41	9.924,78
	H1 (65 kA)	8.501,71	10.752,63
	H2a (85 kA)	9.331,57	11.363,58
	H2 (100 kA)	10.228,62	14.076,60
NW10 (In = 1000)	N1 (42 kA)	8.193,44	10.186,37
	H1 (65 kA)	8.797,40	11.128,86
	H2a (85 kA)	9.656,70	11.810,88
	H2 (100 kA)	10.649,70	14.004,07
NW12 (In = 1250)	N1 (42 kA)	8.503,46	10.754,27
	H1 (65 kA)	9.384,63	12.146,04
	H2a (85 kA)	10.302,70	12.689,97
	H2 (100 kA)	12.214,17	15.276,78
NW16 (In = 1600)	N1 (42 kA)	9.861,68	12.479,07
	H1 (65 kA)	10.355,76	13.405,62
	H2a (85 kA)	11.371,02	14.137,31
	H2 (100 kA)	14.494,74	17.627,10
NW20 (In = 2000)	N1 (42 kA)	11.893,08	15.059,97
	H1 (65 kA)	12.257,53	15.940,77
	H2a (85 kA)	13.462,90	16.761,13
	H2 (100 kA)	15.832,72	19.867,84
NW25 (In = 2500)	H1 (65 kA)	15.606,25	19.063,31
	H2a (85 kA)	17.144,20	20.553,78
	H2 (100 kA)	18.864,05	21.700,36
NW32 (In = 3200)	H1 (65 kA)	21.920,00	26.692,09
	H2a (85 kA)	25.104,34	28.065,70
	H2 (100 kA)	25.185,45	30.848,21
NW40 ⁽²⁾ (In = 4000)	H1 (65 kA)	26.111,73	33.122,84
	H2 (100 kA)	28.694,45	37.059,02

Para los interruptores en carga de poder de corte **NA**, restar 2.873,36 € al valor de **N1** (excepto **NW20**); para los de **HA**, restar 2.873,36 € al valor en **H1** y para **HF** restar 146,61 € al valor de **H1**.

Masterpack NW fijo

Calibre	Poder de corte	3P	4P
		P.V.R.	P.V.R.
NW50 (In = 5000)	H1 (100 kA)	48.170,79	61.137,30
	H2 (150 kA)	52.958,87	68.434,40
NW63 (In = 6300)	H1 (100 kA)	63.863,04	80.479,65
	H2 (150 kA)	69.700,19	90.085,64

Para los interruptores en carga de poder de corte **HA**, restar 2.873,36 € al valor de **H1**.



Introducción

Características y prestaciones de los interruptores automáticos

Compact NSX de 100 a 630 A

Funciones y características



Compact NSX100/160/250.



Compact NSX400/630.

Características comunes

Tensiones nominales

Tensión asignada de aislamiento (V)	Ui	800
Tensión asignada soportada al impulso (kV)	Uimp	8
Tensión asignada de empleo (V)	Ue	50/60 Hz CA 690

Aptitud para el seccionamiento

IEC/EN 60947-2 **sí**

Categoría de empleo

A

Grado de polución

IEC 60664-1 **3**

Interruptores automáticos

Tipo de poder de corte

Características eléctricas según IEC 60947-2

Corriente nominal (A) **In** 40 °C

Número de polos

Poder de corte último (kA ef)

Icu	50/60 Hz CA	220/240 V 380/415 V 440 V 500 V 525 V 660/690 V
------------	-------------	--

Poder de corte en servicio (kA ef)

Ics	50/60 Hz CA	220/240 V 380/415 V 440 V 500 V 525 V 660/690 V
------------	-------------	--

Endurancia (ciclos C-A)

Mecánica

Eléctrica

440 V

690 V

In/2

In

In/2

In

Características eléctricas según Nema AB1

Poder de corte (kA ef)	50/60 Hz CA	240 V 480 V 600 V
------------------------	-------------	-------------------------

Características eléctricas según UL 508

Poder de corte (kA ef)	50/60 Hz CA	240 V 480 V 600 V
------------------------	-------------	-------------------------

Protección y medida

Protección contra cortocircuitos	Magnética únicamente
Protección contra sobrecargas/cortocircuitos	Magnetotérmica
	Electrónica
	con protección de neutro (Off-0.5-1-OSN) ⁽¹⁾
	con protección de defecto a tierra
	con selectividad (ZSI) ⁽²⁾

Pantalla de visualización/medidas I, U, f, P, E, THD/medida de corriente interrumpida

Opciones	Pantalla FDM sobre puerta
	Ayuda a la explotación
	Contadores
	Históricos y alarmas
	Com. de medida
	Com. de control/estado del aparato

Protección diferencial

Mediante bloque Vigi

Mediante relé Vigirex

Instalación/conexiones

Dimensiones y pesos

Dimensiones (mm) L x H x P	Fija, conexiones frontales	2/3P 4P
Peso (kg)	Fija, conexiones frontales	2/3P 4P

Conexiones

Terminales de conexión	Paso polar	Con/sin espaciadores
Cables de Cu o Al	Sección	mm ²

(1) **OSN**: Protección de neutro sobredimensionado para neutros que transporten altas corrientes (por ejemplo, armónicos de tercer orden).

(2) **ZSI**: Selectividad lógica.

(3) Interruptor automático 2P en caja 3P para tipo F, únicamente con unidad de control magnetotérmica. Consultar.

Introducción

Características y prestaciones de los interruptores automáticos

Compact NSX de 100 a 630 A (continuación)

Funciones y características

Características comunes

Control

Manual	Con maneta	●
	Con mando rotativo directo o prolongado	●
Eléctrico	Con telemando	●

Versiones

Fijo		●
Extraíble	Con zócalo	●
	Con chasis	●

NSX100					NSX160					NSX250					NSX400				NSX630			
F	N	H	S	L	F	N	H	S	L	F	N	H	S	L	N	H	S	L	N	H	S	L
100					160					250					400				630			
2 ⁽³⁾ , 3, 4					2 ⁽³⁾ , 3, 4					2 ⁽³⁾ , 3, 4					3, 4				3, 4			
85	90	100	120	150	85	90	100	120	150	85	90	100	120	150	85	100	120	150	85	100	120	150
36	50	70	100	150	36	50	70	100	150	36	50	70	100	150	50	70	100	150	50	70	100	150
35	50	65	90	130	35	50	65	90	130	35	50	65	90	130	42	65	90	130	42	65	90	130
25	36	50	65	70	30	36	50	65	70	30	36	50	65	70	30	50	65	70	30	50	65	70
22	35	35	40	50	22	35	35	40	50	22	35	35	40	50	22	35	40	50	22	35	40	50
8	10	10	15	20	8	10	10	15	20	8	10	10	15	20	10	20	25	35	10	20	25	35
85	90	100	120	150	85	90	100	120	150	85	90	100	120	150	85	100	120	150	85	100	120	150
36	50	70	100	150	36	50	70	100	150	36	50	70	100	150	50	70	100	150	50	70	100	150
35	50	65	90	130	35	50	65	90	130	35	50	65	90	130	42	65	90	130	42	65	90	130
12,5	36	50	65	70	30	36	50	65	70	30	36	50	65	70	30	50	65	70	30	50	65	70
11	35	35	40	50	22	35	35	40	50	22	35	35	40	50	11	11	12	12	11	11	12	12
4	10	10	15	20	8	10	10	15	20	8	10	10	15	20	10	10	12	12	10	10	12	12
50.000					40.000					20.000					15.000				15.000			
50.000					20.000					20.000					12.000				8.000			
30.000					10.000					10.000					6.000				4.000			
20.000					15.000					10.000					6.000				6.000			
10.000					7.500					5.000					3.000				2.000			
85	90	100	120	150	85	90	100	120	150	85	90	100	120	150	85	100	120	150	85	100	120	150
35	50	65	90	130	35	50	65	90	130	35	50	65	90	130	42	65	90	130	42	65	90	130
8	20	35	40	50	20	20	35	40	50	20	20	35	40	50	20	35	40	50	20	35	40	50
85	85	85	-	-	85	85	85	-	-	85	85	85	-	-	85	85	-	-	85	85	-	-
25	50	65	-	-	35	50	65	-	-	35	50	65	-	-	50	65	-	-	50	65	-	-
10	10	10	-	-	10	10	10	-	-	15	15	15	-	-	20	20	-	-	20	20	-	-
●					●					●					●				●			
●					●					●					●				●			
●					●					●					●				●			
●					●					●					●				●			
●					●					●					●				●			
●					●					●					●				●			
●					●					●					●				●			
●					●					●					●				●			
●					●					●					●				●			
●					●					●					●				●			
●					●					●					●				●			
●					●					●					●				●			
●					●					●					●				●			
●					●					●					●				●			
105 × 161 × 86					105 × 161 × 86					105 × 161 × 86					140 × 225 × 110				140 × 225 × 110			
140 × 161 × 86					140 × 161 × 86					140 × 161 × 86					185 × 255 × 110				185 × 255 × 110			
2,05					2,2					2,4					6,05				6,2			
2,4					2,6					2,8					7,90				8,13			
35/45 mm					35/45 mm					35/45 mm					45/52,5 mm				45/52,5 mm			
															45/70 mm				45/70 mm			
300					300					300					4 × 240				4 × 240			

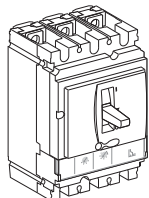
NSX100/160/250F

Compact NSX100/160/250F (36 kA 380/415 V)

Referencias

Compact NSX100/160/250F

Con unidad de control magnetotérmica TM-D



- $I_r = 0,7 \dots 1 \times I_n$
- I_m fijo o regulable según calibres

Compact NSX100F (36 kA a 380/415 V)

Calibre	3P 3R	Clave	P.V.R.	4P 3R	Clave	P.V.R.	4P 4R	Clave	P.V.R.
TM16D	LV429637	C	411,22	LV429647	C	561,40	LV429657	C	561,40
TM25D	LV429636	C	411,22	LV429646	B	561,40	LV429656	C	561,40
TM32D	LV429635	C	411,22	LV429645	B	561,40	LV429655	C	561,40
TM40D	LV429634	B	411,22	LV429644	B	561,40	LV429654	C	561,40
TM50D	LV429633	B	411,22	LV429643	B	561,40	LV429653	C	561,40
TM63D	LV429632	B	411,22	LV429642	B	561,40	LV429652	B	561,40
TM80D	LV429631	B	457,46	LV429641	A	638,01	LV429651	B	638,01
TM100D	LV429630	B	480,81	LV429640	A	663,68	LV429650	B	663,68

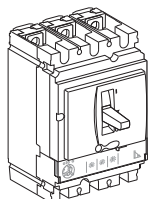
Compact NSX160F (36 kA a 380/415 V)

Calibre	3P 3R	Clave	P.V.R.	4P 3R	Clave	P.V.R.	4P 4R	Clave	P.V.R.
TM80D	LV430633	C	603,16	LV430643	C	784,15	LV430653	C	784,15
TM100D	LV430632	C	616,90	LV430642	C	796,57	LV430652	C	796,57
TM125D	LV430631	B	616,90	LV430641	A	796,57	LV430651	B	796,57
TM160D	LV430630	B	832,42	LV430640	A	1.075,95	LV430650	B	1.075,95

Compact NSX250F (36 kA a 380/415 V)

Calibre	3P 3R	Clave	P.V.R.	4P 3R	Clave	P.V.R.	4P 4R	Clave	P.V.R.
TM125D	LV431633	C	1.156,11	LV431643	C	1.507,90	LV431653	C	1.507,90
TM160D	LV431632	C	1.375,96	LV431642	C	1.792,97	LV431652	C	1.792,97
TM200D	LV431631	B	1.438,15	LV431641	A	1.873,87	LV431651	B	1.873,87
TM250D	LV431630	B	1.691,45	LV431640	A	2.196,58	LV431650	B	2.196,58

Con unidad de control electrónica Micrologic 2.2 (protección $I_{\Delta n}$)



- $I_r = 0,4 \dots 1 \times I_n$
- $I_{sd} = 1,5 \dots 10 \times I_r$

Compact NSX100F (36 kA a 380/415 V)

Calibre	3P 3R	Clave	P.V.R.	4P 3R, 4R, 3R + N/2	Clave	P.V.R.
40	LV429772	C	532,18	LV429782	C	697,42
100	LV429770	B	556,48	LV429780	B	742,97

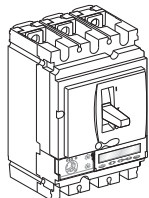
Compact NSX160F (36 kA a 380/415 V)

Calibre	3P 3R	Clave	P.V.R.	4P 3R, 4R, 3R + N/2	Clave	P.V.R.
100	LV430771	C	833,14	LV430781	C	1.070,17
160	LV430770	B	869,33	LV430780	B	1.134,74

Compact NSX250F (36 kA a 380/415 V)

Calibre	3P 3R	Clave	P.V.R.	4P 3R, 4R, 3R + N/2	Clave	P.V.R.
100	LV431772	C	1.434,83	LV431782	C	1.861,51
160	LV431771	C	1.711,26	LV431781	C	2.222,21
250	LV431770	B	1.764,18	LV431780	B	2.290,94

Con unidad de control electrónica Micrologic 5.2 E (protección LSI, energía)



- $I_r = 0,4 \dots 1 \times I_n$
- $t_r = 0,5 \dots 16$ s (vía teclado)
- $I_{sd} = 1,5 \dots 10 \times I_r$
- $t_{sd} = 0 \dots 0,4$ s (vía teclado)
- $I_i = 1,5 \dots 15 I_n$ (NSX 100/160) $12 I_n$ (NSX 250)

Compact NSX100F (36 kA a 380/415 V)

Calibre	3P 3R	Clave	P.V.R.	4P 3R, 4R, 3R+N/2, OSN	Clave	P.V.R.
40	LV429869	C	1.295,18	LV429879	C	1.474,09
100	LV429868	B	1.333,78	LV429878	B	1.542,72

Compact NSX160F (36 kA a 380/415 V)

Calibre	3P 3R	Clave	P.V.R.	4P 3R, 4R, 3R+N/2, OSN	Clave	P.V.R.
160	LV430879	B	1.638,59	LV430889	B	1.932,97

Compact NSX250F (36 kA a 380/415 V)

Calibre	3P 3R	Clave	P.V.R.	4P 3R, 4R, 3R+N/2, OSN	Clave	P.V.R.
250	LV431890	C	2.618,84	LV431895	C	3.185,73

Con unidad de control electrónica Micrologic 6.2 E (protección LSIG, medida de energía)

Debe solicitarse con 2 referencias: 1 unidad de corte + 1 unidad de control

* Consultar catálogo.

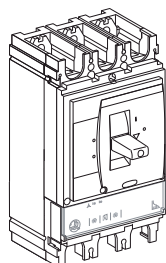
NSX400/630N

Compact NSX400/630N (50 kA 380/415 V)

Referencias

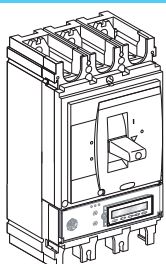
Compact NSX400/630N

Unidad de control electrónica Micrologic 2.3 (protección LS₀I)



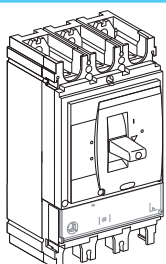
		3P 3R	Clave	P.V.R.	4P 3R, 4R, 3R + N/2	Clave	P.V.R.
Compact NSX400N (50 kA a 380/415 V)	250 A	LV432707	C	2.759,33	LV432708	C	3.587,95
	400 A	LV432693	B	2.759,33	LV432694	A	3.587,95
Compact NSX630N (50 kA a 380/415 V)	630 A	LV432893	B	3.405,75	LV432894	A	4.421,91

Unidad de control electrónica Micrologic 5.3 E (protección LSI, energía)



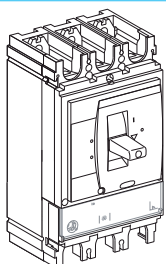
		3P 3R	Clave	P.V.R.	4P 3R, 4R, 3R + N/2	Clave	P.V.R.
Compact NSX400N (50 kA a 380/415 V)	400 A	LV432685	B	3.629,22	LV432686	B	4.372,05
Compact NSX630N (50 kA a 380/415 V)	630 A	LV432885	B	4.278,40	LV432886	B	5.229,82

Unidad de control electrónica Micrologic 1.3-M (protección de motor I)



		3P 3R	Clave	P.V.R.
Compact NSX400N 1.3-M (50 kA a 380/415 V)	320 A	LV432749	C	2.587,86
Compact NSX630N 1.3-M (50 kA a 380/415 V)	500 A	LV432949	C	3.278,31

Unidad de control electrónica Micrologic 2.3-M (protección de motor LS₀I)



		3P 3R	Clave	P.V.R.
Compact NSX400N 2.3-M (50 kA a 380/415 V)	320 A	LV432776	C	2.919,70
Compact NSX630N 2.3-M (50 kA a 380/415 V)	500 A	LV432976	C	3.556,57

Con unidad de control electrónica Micrologic 6.3 E (protección LSIG, energía)

Debe solicitarse con 2 referencias: 1 unidad de corte + 1 unidad de control

Con unidad de control electrónica Micrologic 6.3 E-M (protección motor LSIG, energía)

Debe solicitarse con 2 referencias: 1 unidad de corte + 1 unidad de control

* Consultar catálogo Compact NSX en vigor.

RH197M

Presentación



Relé de protección
diferencial
con reconexión
automática
en carril DIN

Visualización del % de fuga y reconexión automática
sin necesidad de programación... ¡en un mismo relé!

Superinmunizado

- Evita disparos intempestivos.
- Rango de disparo entre el 80% y el 100%.
- Filtrado en frecuencia.
- Curva de disparo a tiempo inverso.
- Medida RMS de fugas.

Reconexión automática

- Posibilidad de rearme manual o automático: elección mediante switch.
- Hasta 10 rearmes a tiempo escalonados (de 30 s a 4 h).
- Reset contadores 30 min.

Visualización de fuga

- Indicación del % de fuga mediante LEDS al 20%, 30%, 40%, 50% y 70%.

Selectividad diferencial total

- 19 umbrales de regulación de $I_{\Delta n}$ 30 mA-30 A.
- 7 umbrales de temporización: instantáneo a 4,5 s.

Señalización de alarma

- Al 50% y al 100% de $I_{\Delta n}$.
- Seleccionable mediante switch.
- Permite tener un relé de protección y/o de señalización en el mismo aparato.

n	Descripción	Alimentación	Referencia	P.V.R.
	RH197M	48 V CA - 24 a 130 V CC 50/60 Hz	56515	416,75
	RH197M	110 V CA 50/60 Hz	56516	390,03
	RH197M	230 V CA 50/60/400 Hz	56517	347,86
	RH197M	400 V CA 50/60 Hz	56518	390,03

RH197M

Características técnicas



Características técnicas

- Curva de disparo a tiempo inverso.
- Test y reset (local y a distancia).
- Autovigilancia.
- Disparo garantizado en menos de 40 ms combinado con interruptores **Schneider Electric**.
- Contacto normal o de seguridad positiva: elección mediante switch.
- Tapa frontal precintable permitiendo test y reset local.
- Tiempos de rearme:
 - 30 s / 1 min / 2 min / 4 min / 8 min / 16 min / 32 min / 64 min / 128 min / 256 min.
- Sensibilidades:
 - 0,03 A / 0,05 A / 0,075 A / 0,1 A / 0,15 A / 0,2 A / 0,3 A / 0,5 A / 0,75 A
 - 1 A / 1,5 A / 2 A / 3 A / 5 A / 7,5 A / 10 A / 15 A / 20 A / 30 A.
- Temporizaciones:
 - 0 / 0,06 s / 0,15 s / 0,31 s / 0,5 s / 1 s / 4,5 s / 30 mA / instantáneo).
- Compatible con los toroidales Schneider Electric cerrados, abiertos y rectangulares (toroidales rectangulares $I_{\Delta n} \geq 0,5$ A).
- IP40 cara frontal / IP30 otras caras / IP20 conexiones según IEC 60529.
- Aislamiento clase 2 en cara frontal IEC 60664-1.
- Aislamiento sobretensiones categoría 4.

Ejemplo de aplicación

Reconexión diferencial de un NSX motorizado con Vigirex RH197M

Cuando tenemos un defecto diferencial y nos dispara el interruptor automático asociado, **RH197M** nos permite rearmar a través del mando motorizado y gracias al reset automático en tiempos escalonados.

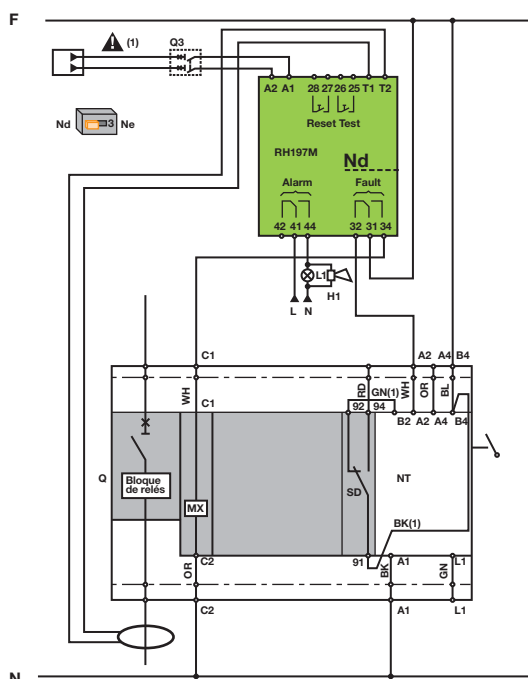
Se recupera el suministro en caso de desaparición de la fuga, priorizando así la continuidad de servicio de la instalación.

Material necesario

- RH197M.
- Toroidal.
- Compact NSX motorizado.
- Bobina de disparo MX.

Cuando el relé **RH197M** detecta una fuga diferencial conmuta el contacto de defecto.

Si tenemos el switch en "auto", el contacto vuelve a la posición original en tiempos escalonados permitiendo el rearme del mando eléctrico.



Relés diferenciales Vigirex RH

Relés estándar (continuación)



RHUs y RHU



RM12T



RMH



Aros magnéticos



Relé diferencial RHU con visualización permanente de corriente de fugas

	Ref.	Clave	P.V.R.
Alarma: sensibilidad de 15 mA a 30 A- Instantánea o temporizada de 0 a 5 s			
Defecto: sensibilidad de 30 mA a 30 A- Instantánea o temporizada de 0 a 5 s			
Alimentación de 220 a 240 V CA	28560	A	680,53
50/60/400 Hz	28573	A	544,36

Central de medida RMH + RM12T con visualización permanente de corriente de fugas

	Ref.	Clave	P.V.R.	Ref.	Clave	P.V.R.
Montaje en carril DIN				Montaje empotrado		
Prealarma: sensibilidad de 15 mA a 30 A- Instantánea o temporizada de 0 a 5 s						
Alarma: sensibilidad de 30 mA a 30 A- Instantánea o temporizada de 0 a 5 s						
Alimentación de 220 a 240 V CA	28566	A	360,89	28998F	B	736,22
50/60/400 Hz						

Toroidales

Tipo	Ø interior (mm)	Ref.	Clave	P.V.R.
Toroidales cerrados de tipo A				
TA30	30	50437	A	106,47
PA50	50	50438	A	146,70
IA80	80	50439	A	226,12
MA120	120	50440	A	434,86
SA200	200	50441	A	1.079,96
GA300	300	50442	A	2.577,44

Tipo	Ref.	Clave	P.V.R.
Accesorio para toroidales cerrados			
Para TA30	56055	C	36,62
Para PA50	56056	C	39,42
Para IA80	56057	C	42,45
Para MA120	56058	C	55,65

Tipo	Ø interior (mm)	Ref.	Clave	P.V.R.
Toroidales abiertos de tipo OA				
POA	46	50485	C	1.363,66
GOA	110	50486	C	2.441,13

Dimensiones interiores (mm)	Ref.	Clave	P.V.R.
Toroidales rectangulares			
280 x 115	56053	B	3.744,29
470 x 160	56054	B	5.065,82

Nota: Enlace captador-relé: cables trenzados no suministrados (ver el capítulo "Instalación y conexión").

Variadores de velocidad para motores asíncronos

Altivar 71 (continuación)

Presentación



537093



ATV 71HC28N4,
ATV 71HD37M3X, ATV 71HU22N4

Oferta completa

La gama de variadores de velocidad para motores asíncronos Altivar 71 cubre las potencias de motor comprendidas entre 0,37 kW y 630 kW con cuatro tipos de alimentación:

- 200...240 V monofásica, de 0,37 kW a 5,5 kW, UL tipo 1/IP20 (ATV 71H●●●M3).
- 200...240 V trifásica, de 0,37 kW a 75 kW, UL tipo 1/IP20 (ATV 71H●●●M3 y ATV 71H●●●M3X).
- 380...480 V trifásica, de 0,75 kW a 500 kW, UL tipo 1/IP20 (ATV 71H●●●N4).
- 500...690 V trifásica, de 1,5 kW a 630 kW, UL tipo 1/IP20 (ATV 71H●●●Y).

Esta gama permite controlar motores asíncronos en control vectorial de flujo (CVF) con o sin sensor y motores síncronos de fuerza electromotriz sinusoidal.

En ~ 200...240 V y ~ 380...480 V, se ofrece una variante funcional para poder controlar motores síncronos de fuerza electromotriz sinusoidal con retorno de velocidad. Sigue siendo posible el control de los motores citados anteriormente (ver **páginas 5/5, 5/6 y 5/18**).

El conjunto de las opciones de la gama de variadores de velocidad para motores asíncronos Altivar 71 está disponible para esta variante, con el mismo calibre.

El variador Altivar 71 integra de forma estándar los protocolos Modbus y CANopen así como numerosas funciones. Se pueden extender por medio de tarjetas opcionales de comunicación, de extensión de entradas/salidas, de una tarjeta programable "Controller Inside" o de interface de codificador, ver página 9 del catálogo Altivar 71.

Opciones externas como resistencias de frenado, unidades de frenado por resistencia y filtros completan esta oferta, ver página 9 del catálogo Altivar 71.

El conjunto de la gama cumple las normas internacionales IEC/EN 61800-5-1, IEC/EN 61800-2, IEC/EN 61800-3, certificación UL, CSA, DNV, C-Tick, NOM 117, GOST y desarrollado para cumplir las directivas sobre la protección del medio ambiente (RoHS, WEEE...) así como las directivas europeas (marcado **CE**).

Seguridad funcional y aplicaciones ATEX (1)

El variador de velocidad Altivar 71 integra una función de seguridad que garantiza la parada del motor y que impide su rearmado imprevisto.

La función de seguridad "Power Removal" permite instalar el variador como componente en la cadena de seguridad de un sistema de control eléctrico/electrónico/electrónico programable relativo a la seguridad de una máquina o de un proceso industrial. Esta función cumple los requisitos de la categoría 3 de la norma de seguridad de las máquinas EN 60954-1, nivel SIL 2 de la IEC/EN 61508 y la norma de productos para la seguridad funcional de accionamientos de potencia IEC/EN 61800-5-2.

La utilización de la función de seguridad "Power Removal" permite también que el variador de seguridad Altivar 71 proteja motores instalados en atmósferas explosivas (ATEX), ver páginas 220 y 221 del catálogo Altivar 71.

Compatibilidad electromagnética CEM

El cumplimiento de la compatibilidad electromagnética y la reducción de los armónicos se tienen en cuenta desde la etapa de diseño.

La incorporación de filtros CEM en los variadores ATV 71H●●●M3, ATV 71●●●●N4, ATV 71H●●●Y, ATV 71P●●●N4Z y la consideración CEM facilitan la instalación y la conformidad muy económica del equipo para recibir el marcado **CE**.

Los variadores ATV 71H●●●M3X se diseñan sin filtro CEM. Puede instalar filtros opcionales para reducir el nivel de emisiones, ver **páginas 5/37 y 5/38**.

(1) Consultar la guía ATEX, disponible en nuestra página Web www.schneiderelectric.es.

Variadores de velocidad para motores asíncronos



Altivar 71. Tensión de alimentación 380...480 V 50/60 Hz (continuación)

Referencias



ATV 71HU22N4



ATV 71HU40N4Z



ATV 71HC28N4

Variadores UL tipo 1/IP20													
Motor		Red				Altivar 71				Referencia (3)	Clave	Precio	
Potencia indicada en la placa (1)		Corriente de línea (2)		Potencia aparente	lcc línea presu- mible máx.	Corriente máxima permanente (1)		Corriente transitoria máx. durante					
		380 V	480 V	240 V		380 V	460 V	60 s	2 s				
kW	hp	A	A	kVA	kA	A	A	A	A				
Tensión de alimentación trifásica: 380...480 V 50/60 Hz													
0,75	1	3,7	3	2,4	5	2,3	2,1	3,5	3,8	ATV 71H075N4 (4) (5)	B	950,58	
1,5	2	5,8	5,3	3,8	5	4,1	3,4	6,2	6,8	ATV 71HU15N4 (4) (5)	B	1.076,23	
2,2	3	8,2	7,1	5,4	5	5,8	4,8	8,7	9,6	ATV 71HU22N4 (4) (5)	B	1.182,22	
3	–	10,7	9	7	5	7,8	6,2	11,7	12,9	ATV 71HU30N4 (4) (5)	B	1.371,24	
4	5	14,1	11,5	9,3	5	10,5	7,6	15,8	17,3	ATV 71HU40N4 (4) (5)	B	1.496,89	
5,5	7,5	20,3	17	13,4	22	14,3	11	21,5	23,6	ATV 71HU55N4 (4) (5)	B	1.764,59	
7,5	10	27	22,2	17,8	22	17,6	14	26,4	29	ATV 71HU75N4 (4) (5)	B	2.038,72	
11	15	36,6	30	24,1	22	27,7	21	41,6	45,7	ATV 71HD11N4 (4) (5)	B	2.572,60	
15	20	48	39	31,6	22	33	27	49,5	54,5	ATV 71HD15N4 (4) (5)	B	3.066,24	
18,5	25	45,5	37,5	29,9	22	41	34	61,5	67,7	ATV 71HD18N4 (4) (5)	B	3.661,34	
22	30	50	42	32,9	22	48	40	72	79,2	ATV 71HD22N4 (4) (5)	B	4.145,94	
30	40	66	56	43,4	22	66	52	99	109	ATV 71HD30N4 (4) (5)	B	5.223,87	
37	50	84	69	55,3	22	79	65	118,5	130	ATV 71HD37N4 (4) (5)	B	6.037,84	
45	60	104	85	68,5	22	94	77	141	155	ATV 71HD45N4 (4) (5)	B	7.062,97	
55	75	120	101	79	22	116	96	174	191	ATV 71HD55N4 (4) (5)	B	7.998,36	
75	100	167	137	109,9	22	160	124	240	264	ATV 71HD75N4 (4) (5)	C	9.950,45	
90	125	166	134	109,3	35	179	179	269	295	ATV 71HD90N4 (6) (7)	C	■	
110	150	202	163	133	35	215	215	323	355	ATV 71HC11N4 (6) (7)	C	■	
132	200	239	192	157,3	35	259	259	388	427	ATV 71HC13N4 (6) (7)	C	■	
160	250	289	233	190,2	50	314	314	471	518	ATV 71HC16N4 (6) (7)	C	■	
200	300	357	286	235	50	387	387	580	638	ATV 71HC20N4 (6) (7)	C	■	
220	350	396	320	260,6	50	427	427	640	704	ATV 71HC25N4 (6) (7)	C	■	
250	400	444	357	292,2	50	481	481	721	793				
280	450	494	396	325,1	50	550	550	825	907	ATV 71HC28N4 (6) (7)	C	■	
315	500	555	444	365,3	50	616	616	924	1016	ATV 71HC31N4 (6) (7)	C	■	
355	–	637	512	419,3	50	671	671	1006	1107	ATV 71HC40N4 (6) (7)	C	■	
400	600	709	568	466,6	50	759	759	1138	1252				
500	700	876	699	576,6	50	941	941	1411	1552	ATV 71HC50N4 (6) (7)	C	■	

(1) Estos valores corresponden a una frecuencia de corte nominal de 4 kHz hasta ATV 71HD30N4 o de 2,5 kHz para ATV 71HD37N4...HC50N4 utilizando un régimen permanente.

La frecuencia de corte se puede ajustar de 1 a 16 kHz hasta ATV 71HD75N4 y de 2,5 a 8 kHz para los variadores ATV 71HD90N4...ATV 71HC50N4.

Superados los 2,5 o 4 kHz según el calibre, el variador reducirá por sí mismo la frecuencia de corte en caso de calentamiento excesivo. Para un funcionamiento en régimen permanente superada la frecuencia de corte nominal, debe aplicarse una desclasificación a la corriente nominal del variador, ver curvas de desclasificación en páginas 251 y 254 a 256 del catálogo Altivar 71.

(2) Valor típico para la potencia de motor indicada y para lcc de línea presumible máx.

(3) Variadores suministrados de serie para motores asíncronos con o sin retorno de sensor y motores síncronos de fuerza electromotriz sinusoidal sin retorno de velocidad. Se puede solicitar un variador que pueda controlar, además de los motores previstos en la oferta estándar, motores síncronos de fuerza electromotriz sinusoidal con retorno de velocidad añadiendo 383 al final de la referencia. Ejemplo: ATV 71H075N4 pasa a ser **ATV 71H075N4383**.

Ver **páginas 5/18 a 5/21** para conocer las tarjetas de interface del codificador disponibles.

Esta oferta no está disponible para los variadores ATV 71H075N4S337...HD75N4S337 (4) y ATV 71HD90N4D...HC50N4D (6).

(4) Los variadores ATV 71HD90N4...HC50N4 se suministran de serie en versión reforzada con el fin de poder funcionar en condiciones de entorno particulares (ver las condiciones de entorno en la página 11 del catálogo Altivar 71).

Los variadores ATV 71H075N4...HD75N4 se pueden solicitar en versión reforzada añadiendo **S337** al final de la referencia. Ejemplo: ATV 71H075N4 pasa a ser **ATV 71H075N4S337**.

En la versión reforzada, el variador se entrega obligatoriamente con un terminal gráfico remoto.

(5) Todos los variadores se suministran con un terminal gráfico remoto. Los variadores ATV 71H075N4...ATV 71HD75N4 se pueden solicitar sin terminal gráfico.

Para ello, añadir una **Z** al final de la referencia. En tal caso, se equipan con un terminal de siete segmentos integrado.

Ejemplo: ATV 71H075N4 sin terminal gráfico pasa a ser **ATV 71H075N4Z**.

Para pedir los variadores ATV 71H075N4383...HD75N4383 sin terminal gráfico, consultarnos.

(6) Variador suministrado de serie con una inductancia CC que debe obligatoriamente utilizarse para las conexiones del variador a la red trifásica.

Para las conexiones a bus continuo, el variador se puede pedir sin inductancia CC añadiendo una **D** al final de la referencia.

Ejemplo: ATV 71HD90N4 pasa a ser **ATV 71HD90N4D**.

(7) Variador suministrado sin placa de montaje CEM. Incluido en el kit para la conformidad UL tipo 1 o IP31, que se pide por separado, ver **páginas 5/13 y 5/14**.

■ Consultar.

Nota: consultar las tablas de síntesis de las asociaciones posibles: variadores, opciones y accesorios, ver páginas 178 y 179 del catálogo Altivar 71.

Disyuntores

Magnéticos TeSys® GV3-L y GK3-EF80 de 25 a 80 A en AC-3

Protección y control de potencia



1



GV3-L25



GK3-EF80

Disyuntores magnéticos GV3-L conexión por tornillos de estribo Everlink®

Control por selector

Potencias normalizadas de los motores trifásicos 50/60 Hz en categoría AC-3

400/415 V			500 V			690 V			Material para asociar Contactor calibre mín.	Relé de protección térmica	Disyuntor Protección contra los cortocircuitos Calibre A	Referencia
P kW	Icu kA	Ics	P kW	Icu kA	Ics	P kW	Icu kA	Ics				
11	100	50	15	12	50	18,5	6	50	LC1-D25	LRD-325	25	GV3-L25
15	100	50	18,5	12	50	22	6	50	LC1-D32	LRD-332	32	GV3-L32
18,5	50	50	22	10	50	37	5	60	LC1-D40A	LRD-340	40	GV3-L40
22	50	50	30	10	50	45	5	60	LC1-D50A	LRD-350	50	GV3-L50
30	50	50	37	10	50	55	5	60	LC1-D65A	LRD-365	65	GV3-L65

Disyuntores magnéticos GK3-EF conexión por tornillos de estribo

Control por selector

Potencias normalizadas de los motores trifásicos 50/60 Hz en categoría AC-3

400/415 V			500 V			690 V			Material para asociar Contactor calibre mín.	Relé de protección térmica	Disyuntor Protección contra los cortocircuitos Calibre A	Referencia
P kW	Icu kA	Ics	P kW	Icu kA	Ics	P kW	Icu kA	Ics				
37	35	25	55	15	30	–	–	–	LC1-D80	LRD-3363	80	GK3-EF80

Aditivos para GV3-L

Bloques de contactos

Contactos auxiliares instantáneos (1 por disyuntor) Tipo de contacto normal avanzado	Frontal	Frontal	Frontal	Lateral izq.	Lateral izq.
	"NC" o "NA" *	"NA" + "NA"	"NA" + "NC"	"NC" + "NA"	"NA" + "NA"
	GV-AE1	GV-AE20	GV-AE11	GV-AN11	GV-AN20
Contacto de señalización de defecto + contacto auxiliar inst. Tipo de contacto normal avanzado	Frontal	Frontal	Lateral izq.	Lateral izq.	Lateral izq.
	"NA" (defecto) + "NA"	"NA" (defecto) + "NC"	"NC" (defecto) + "NA"	"NC" (defecto) + "NC"	"NA" (defecto) + "NA"
	GV-AED101	GV-AED011	GV-AD0110	GV-AD0101	GV-AD1010

Nota: Para el resto de aditivos consultar los aditivos del GV3-P en la [pág. 17](#), ya que son compartidos. * Aditivo reversible, elección del contacto NC o NA según el montaje.

Aditivos para GK3-EF80

Bloques de contactos

Tipo de contactos	"NA"	"NA" + "NA"	"NC" + "NA"	"NC" defecto + "NA" defecto	"NA" defecto + "NA" defecto	"NA" defecto
Contactos de señalización Marcha-Paro y con función "Ensayo en vacío" (1 ó 2 bloques por aparato) montaje a la derecha del GK3-EF	GK2-AX10	GK2-AX20	GK2-AX50	–	–	–
Contactos instantáneos de señalización de defecto (1 ó 2 bloques por aparato) montaje a la izquierda del GK3-EF	–	–	–	GK2-AX52	GK2-AX22	GK2-AX12

1 disparador o bien 1 contacto de señalización de fallos para montar en el interior del disyuntor-motor.

Tabla de sustitución de los disyuntores magnéticos GK3-EF

Potencia 400 V	Gama a sustituir	Icu/400 V	Gama de sustitución	Ir	Icu/400 V
11 kW	GK3-EF40	50 kA	GV3-L25	25 A	100 kA
15 kW	GK3-EF40	50 kA	GV3-L32	32 A	100 kA
18,5 kW	GK3-EF40	50 kA	GV3-L40	40 A	50 kA
22 kW	GK3-EF65	35 kA	GV3-L50	50 A	50 kA
30 kW	GK3-EF65	35 kA	GV3-L65	65 A	50 kA

Envolventes universales y sistemas para la gestión térmica

Armarios monobloc y combinable (continuación)

Armario monobloc de acero inoxidable 304L

Spacial NSYSMX

- Armario de 2 puertas, chapa de acero inoxidable 304L plegada y soldada de 1,5 mm de espesor.
- Acabado pulido Scotch-Brite®.
- Grado de protección IP55 según la norma IEC 60529.
- Resistencia a los impactos mecánicos externos: IK 10 según la norma IEC 62262.
- Puerta delantera ciega. Apertura de 120° a la izquierda o a la derecha, con marco de refuerzo incorporado. Montada en 3 bisagras inoxidable. Cierre de 3 puntos con maneta de Zamak pintado con doble barra de 5 mm.
- Carga admisible: 50 kg.
- 4 escuadras para el soporte de la placa de montaje.
- Suministrada con placa pasacables en una sola pieza.

Spacial NSYSMX							
Referencia	Medidas			Clave	Tipo tarifa	Unid. emb.	P.V.R.
	Altura	Anchura	Profundidad				
NSYSMX141030	1400	1000	300	B	R	1	3.132,44
NSYSMX181240	1800	1200	400	B	R	1	3.672,92
NSYSMX181640	1800	1600	400	C	R	1	5.447,12
NSYSMX201040	2000	1000	400	C	R	1	3.925,27
NSYSMX201250	2000	1200	500	C	R	1	3.744,26
NSYSMX201660	2000	1600	600	C	R	1	5.676,22

Armario monobloc de acero inoxidable 316L



Spacial NSYSMX_H							
Referencia	Medidas			Clave	Tipo tarifa	Unid. emb.	P.V.R.
	Altura	Anchura	Profundidad				
NSYSMX18840H	1800	800	400	C	R	1	3.358,37

Spacial NSYSMX_H

- Armario de 1 puerta, chapa de acero inoxidable 316L plegada y soldada de 1,5 mm de espesor.
- Acabado pulido Scotch-Brite®.
- Grado de protección IP55 según la norma IEC 60529.
- Resistencia a los impactos mecánicos externos: IK 10 según la norma IEC 62262.
- Puerta delantera ciega. Apertura de 120° a la izquierda o a la derecha, con marco de refuerzo incorporado. Montada en 3 bisagras inoxidable. Cierre de 3 puntos con maneta de Zamak pintado con doble barra de 5 mm.
- Carga admisible: 50 kg.
- 4 escuadras para el soporte de la placa de montaje.
- Suministrada con placa pasacables en una sola pieza.

Spacial NSYSMX_H

- Armario de 2 puertas, chapa de acero inoxidable 316L plegada y soldada de 1,5 mm de espesor.
- Acabado pulido Scotch-Brite®.
- Grado de protección IP55 según la norma IEC 60529.
- Resistencia a los impactos mecánicos externos: IK 10 según la norma IEC 62262.
- Puerta delantera ciega. Apertura de 120° a la izquierda o a la derecha, con marco de refuerzo incorporado. Montada en 3 bisagras inoxidable. Cierre de 3 puntos con maneta de Zamak pintado con doble barra de 5 mm.
- Carga admisible: 50 kg.
- 4 escuadras para el soporte de la placa de montaje.
- Suministrada con placa pasacables en una sola pieza.

Spacial NSYSMX_H							
Referencia	Medidas			Clave	Tipo tarifa	Unid. emb.	P.V.R.
	Altura	Anchura	Profundidad				
NSYSMX181240H	1800	1200	400	C	R	1	5.130,33
NSYSMX181640H	1800	1600	400	C	R	1	5.933,06
NSYSMX201040H	2000	1000	400	C	R	1	5.393,52
NSYSMX201250H	2000	1200	500	C	R	1	5.738,17
NSYSMX201660H	2000	1600	600	C	R	1	7.253,67